

## **Концентрирование и определение бензойной и салициловой кислот в водных средах и продуктах питания**

**\*П.Т. Суханов, А.Г. Савина, А.А. Кушнир, Е.В. Полуженкова**

*Воронежский государственный университет инженерных технологий,  
Российская Федерация, 394036, Россия, г. Воронеж, пр. Революции, 19*

*\*Адрес для переписки: Суханов Павел Тихонович, E-mail: pavel.suhanov@mail.ru*

Поступила в редакцию 27 ноября 2017 г., после доработки – 28 апреля 2018 г.

Приведен обзор литературы по современным методам пробоподготовки и определения бензойной (БК) и салициловой кислот (СК) в различных водных средах и продуктах питания. Обсуждается применение органо-неорганических полимерных композиционных материалов на основе глин (бентонит, монтмориллонит, вермикулиты), коммерческих гранулированных активных углей, биоуглей, полимерных сорбентов природного и синтетического происхождения для концентрирования БК и СК из водных сред, в том числе из сточных вод и почвенных растворов. Описаны схемы получения и модифицирования сорбентов поверхностно-активными веществами, наночастицами и катионами металлов. Приведены значения предельной сорбции, уровни концентраций сорбируемых соединений, время достижения сорбционного равновесия, а также способы определения в концентратах сорбатов. Изложены способы выделения, изолирования, концентрирования или экстракции БК и СК из продуктов питания (алкогольные и безалкогольные напитки, молоко и молочные продукты, сиропы, крупы, овощи, фрукты и т.д.). Для определения БК и СК в различных объектах рекомендуются хроматографические (высокоэффективная жидкостная, ионная, газовая, тонкослойная хроматография), электрохимические, спектрометрические методы анализа и капиллярный электрофорез. Приведены условия детектирования аналитов, применяемые подвижные и неподвижные фазы, условия элюирования, составы фоновых растворов, характеристики электрохимического определения, а также пределы обнаружения в различных матрицах, содержащих БК и СК.

**Ключевые слова:** бензойная кислота, салициловая кислота, концентрирование, определение, пищевые продукты, водные среды.

For citation: *Analitika i kontrol'* [Analytics and Control], 2018, vol. 22, no. 2, pp. 92-116

DOI: 10.15826/analitika.2018.22.2.003

## **Benzoic and Salicylic acids concentration and determination in food and water mediums**

**\*P.T. Sukhanov, A.G. Savvina, A.A. Kushnir, E.V. Poluzhenkova**

*Voronezh State University of Engineering Technologies,  
prospekt Revolyutsii 19, Voronezh, 394036, Russian Federation*

*\*Corresponding author: Pavel T. Sukhanov, E-mail: pavel.suhanov@mail.ru*

Submitted 27 November 2017, received in revised form 28 April 2018

A review of literary data on the modern methods of sample preparation and definition of benzoic (BA) and salicylic acids (SA) in various objects, ranging from drinking and sewage waters to food products, is provided. The use of organic-inorganic polymer composite materials based on clays (bentonite, montmorillonite, vermiculite), commercial granulated active carbons, bio-spheres, polymeric sorbents of natural and synthetic origin, for concentrating BA and SA from aqueous mediums, including wastewater and soil solutions, are discussed. Schemes of obtaining and modifying the sorbents by surface-active substances, nanoparticles and metal cations are described. Limiting sorption values, sorbed compounds concentrations levels, sorption balance reaching times, and methods of sorbate determination in concentrates are given. Techniques of election, isolating, concentrating or extracting BA and SA from foodstuffs (alcoholic and non-alcoholic drinks,

milk and dairy products, syrups, cereals, vegetables, fruits, etc.) are stated. The chromatographic (high-performance liquid, ionic, gas, thin-layer chromatography), electrochemical and spectrometric methods as well as capillary electrophoresis are recommended for the BA and SA determination in various objects. The analytes detection conditions, applied mobile and stationary phases, elution conditions, compositions of background solutions, characteristics of electrochemical determination, and also linear checks in various matrices, containing BA and SA, are presented.

**Key words:** aromatic acids, benzoic acid, salicylic acid, concentration, determination, food.

## Введение

Пищевые добавки (красители, консерванты, стабилизаторы и др.) применяют для сохранения вкуса, внешнего вида, текстуры и продления (увеличения) сроков годности продуктов питания. Перечень разрешенных к применению консервантов (КС) пищевой продукции приведен в техническом регламенте Таможенного союза [1] (индекс «Е» с порядковыми номерами 200 – 283) и представлен, в основном, ароматическими, одноосновными карбоновыми кислотами и их солями, эфирами и неорганическими соединениями (солями калия, кальция и натрия).

Установлено, что избыточное количество КС может привести к возникновению аллергических реакций [2], дисбалансу активных веществ в организме [3] и, как следствие, возникновению пищевой аллергии. Её клинические проявления разнообразны и зависят от свойств аллергена, реактивности организма и функционального состояния органов, в которых развивается аллергическая реакция. Более подробно риски неправильного определения аллергенов, их клинически значимые концентрации приведены в [4]. Помимо этого, введение большого количества КС ухудшает качество продуктов питания и напитков [5].

Содержание бензойной кислоты (БК) и её солей (Е 210-213) в продуктах питания регламентировано Европейским [6] и Таможенным [1] союзами, согласно которым их максимальный уровень концентрации в продукции зависит от категории пищевого продукта и варьируется в пределах от 150 до 6000 мг/кг, при этом установленная доза потребления в день зависит от возрастной группы человека [7].

БК и салициловая кислота (СК) широко применяются в медицине [8-10], а также в синтезе органических веществ и лекарственных средств: бензонатных пластификаторов [11, 12], салицилата натрия, салициламида, ацетилсалициловой кислоты [13, 14], поэтому данные кислоты могут содержаться в сточных водах фармацевтической промышленности.

Задача обеспечения пищевой безопасности государства и безопасности здоровья населения актуальна не только в части разработки современных аналитических методов определения КС, но и обобщения современных методов пробоподготовки и контроля качества пищевой продукции и водных сред. В обзорах [15, 16] обсуждаются нормативные документы, основные достижения и метрологиче-

ские характеристики методов определения следовых количеств различных пищевых добавок.

Цель данной работы состоит в обобщении способов концентрирования и определения БК и СК в пищевых продуктах и водных средах.

## Концентрирование бензойной и салициловой кислот из водных сред

### Сорбция природными материалами

Одним из перспективных направлений синтеза сорбентов, применяемых для концентрирования органических соединений, в том числе БК и СК, является создание органо-неорганических полимерных композиционных материалов (КМ) на основе бентонита (БТ) и монтмориллонита (ММТ) [17] с заданным комплексом свойств [18, 19].

При приготовлении КМ возникают проблемы с диспергированием и проникновением макромолекул в пространство между силикатными пластинами, что приводит к низким степеням извлечения сорбатов [20]. Перечисленные проблемы устраняются при модификации поверхности глин катионными поверхностно-активными веществами (ПАВ), в которых число углеродных атомов изменяется от 6 до 20 [21], например, гекса-, октадецилтриметилламмоний бромидом [22] и цетилпиридиний бромидом [23]. Органомодификацию глин проводят по следующей методике: образцы глины диспергируют в дистиллированной воде, затем при постоянном перемешивании добавляют раствор ПАВ и центрифугируют. Полученные материалы применяют для сорбции БК. Установлено, что сорбционная емкость возрастает с уменьшением pH и повышением температуры.

Помимо ПАВ, поверхность ММТ и БТ модифицируют катионами металлов ( $\text{Fe}^{3+}$  [24],  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  [25]), образующими прочные комплексы с органическими ароматическими кислотами. Полученные материалы используют в качестве сорбентов для концентрирования БК и СК из почвенных растворов [24] и сточных вод фармацевтических предприятий [25]. При применении таких сорбентов предельная сорбция БК более чем в два раза выше по сравнению с другими природными материалами (табл. 1).

Для формирования неоднородного двойного слоя влажный вермикулит (минерал группы гидрослюд со слоистой структурой с отрицательно заряженной поверхностью) механически модифицируют, измельчая его в вибрационной дисковой мельнице [26]. Синтезированные таким способом

Таблица 1

Предельная сорбция ( $a_p^{\max}$ , мг/г) бензойной кислоты модифицированными органоглинами из водных сред, уровень концентраций ( $c_0$ ), время достижения сорбционного равновесия ( $t$ ) и способы определения сорбатов

Table 1

Maximum sorption ( $a_p^{\max}$ , mg/g) of benzoic acid by modified organoclays from the aqueous medium, concentration level ( $c_0$ ), contact time ( $t$ ) and the methods of determination of the solutes

Органо-глина	Модификатор	$a_p^{\max}$	$t$	$c_0$ , мг/л	Определение	Литература
Монтмориллонит	$\text{Ca}^{2+}$	$R \sim 61 \%$	12 ч	1220	СФ (223 нм)	[20]
Бентонит	Октадецилтриметил аммоний бромид	43.3	18 ч	10 - 600	СФ (273 нм)	[22]
	Гексадецилтриметил аммоний бромид	39.7				
Бентонит	Цетилпиридиний бромид	102.0	90 мин	100	СФ (507 нм)	[23]
Монтмориллонит	$\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Fe}^{3+}$	71.9	72 ч	Почвенный р-р, 12 – 976	ВЭЖХ	[24]
Вермикулит	Наноразмерные частицы $\text{SiO}_2$	42-47	12 ч	100-1000	СФ (227 нм)	[29]
Вермикулит	Цетилтриметил аммоний бромид	31.9	12 ч	100-500	СФ (227 нм)	[30]
Бентонит	Октадецилтриметил аммоний бромид	22.0	90 мин	Сточные воды, 244-1464	СФ (227 нм)	[31]
	Октадецилдиметилбензил аммоний хлорид	20.8				
Вермикулит	Цетилтриметил аммоний бромид	42.2	140 мин	100-1000	СФ (227 нм)	[32]

Примечания: условия ВЭЖХ определения аналитов здесь и далее приведены далее в табл. 4.

материалы применяют для концентрирования ароматических органических веществ в образцах со сложной матрицей (нефтепромысловые сточные воды и водная поверхность, покрытая дизельным топливом) [27, 28].

Эффективность концентрирования БК увеличивается при модифицировании вермикулита ПАВ (цетилтриметиламмоний бромид) и наночастицами диоксида кремния [29] за счет равномерного распределения в матрице органофильных слоев, что приводит к увеличению предельной сорбции БК с 42 (без наполнителя) до 47 мг/г и большим уровнем концентраций сорбата (табл. 1) по сравнению с другими модифицированными глинами [22, 30-32].

### Сорбция углеродными сорбентами.

Для концентрирования БК и СК применяют также коммерческие гранулированные активные угли марок Filtrasorb, Sephadex, RRL и др. (табл. 2). Несмотря на высокие значения предельной сорбции данных кислот (более 237 мг/г), их использование ограничивается неполной десорбцией сорбата, большими временами достижения сорбционного равновесия и высокой стоимостью.

Быстрым пиролизом в реакторе древесины получены биоугли (БУ) [38], себестоимость которых в сравнении с полимерными сорбентами значительно ниже [39, 40], поэтому их применяют в качестве сорбентов для концентрирования БК и СК из водных сред. Несмотря на низкую эффективность сорбции СК (~11 мг/г) и низкий уровень содержания сорбата (~115 мг/л), время достижения сорбционного равновесия меньше по сравнению с коммерческими активными углями [33, 36] и полимерными сорбентами [44].

Поверхность БУ модифицируют частицами  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  [45]: к суспензии БУ сначала добавляют  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{FeSO}_4$ , затем  $\text{NaOH}$ , раствор перемешивают, выдерживают в течение 24 ч, фильтруют, промывают дистиллированной водой,  $\text{NaOH}$  (для удаления карбоновых кислот) и сушат под вакуумом. Синтезированные материалы [45, 46] применяли для концентрирования БК и СК из водных сред (в том числе и сточных вод). Сорбционное равновесие на изученных сорбентах устанавливается менее чем за 2 минуты, при применении сорбента [46], достигается большая сорбционная емкость (108 мг/г), чем при применении коммерческих активных углей [37, 42].

Таблица 2

Предельная сорбция ( $a_p^{\max}$ , мг/г) бензойной (БК) и салициловой (СК) кислот углеродными сорбентами из водных сред, уровень концентраций ( $c_0$ ), время достижения сорбционного равновесия ( $t$ ) и способы определения сорбатов

Table 2

Maximum sorption ( $a_p^{\max}$ , mg/g) of benzoic and salicylic acids by carbon sorbents from the aqueous medium, concentration level ( $c_0$ ), contact time ( $t$ ) and the methods of determination of the solutes

Сорбент	Марка (основа)	Сорбат	$t$	$a_p^{\max}$	$c_0$ , мг/л	Определение	Литература
Активный уголь	Spectracarb 2225	БК	24 ч	362.3	20.9	СФ (224 нм)	[33]
Активный уголь	Taipei Chem. Corp	БК	–	392.8	–	СФ (225 нм)	[34]
Активный уголь	RRL CAL Filtrisorb 200 Filtrisorb B 400	БК	5 ч	270.8 237.9 245.2 398.9	2-120	СФ (269 нм)	[35]
Активный уголь	F100	БК	96 ч	186.7	0-244	СФ	[36]
Активный уголь	Filtrisorb F 400 Sephabeads SP 207 Sephabeads SP 206	СК	24 ч	351.0 81.6 45.2	100	СФ (295 нм)	[37]
Биоуголь	Сосна	СК	16 ч	10.7	25-100	СФ (298 нм)	[41]
Активный уголь Биоуголь	Filtrisorb 400 GAC 830	СК	1.5 ч	31.4 17.5	15-115	СФ (530 нм)	[42]
Биоуголь	HJ-G02	СК	24 ч	210.0	100-500	СФ (296 нм)	[43]
Полимер	NDA-99	СК	24 ч	344.8	100-500	ВЭЖХ	[44]
Биоуголь	$Fe_3O_4$	СК	2 мин	10.9	Сточные воды, 1-25	СФ (298 нм)	[45]
Биоуголь	Пихта/ $Fe_3O_4$	БК СК	2 мин	108.8 89.9	Сточные воды, 25-500	СФ (298 нм) СФ (222 нм)	[46]

### Сорбция полимерными сорбентами.

Для концентрирования БК и СК из водных сред применяют полимерные сорбенты (ПС) природного и синтетического происхождения. Например, на основе хитозана, модифицированного  $\beta$ -циклодекстрином и глутаровым альдегидом, синтезирован гранулированный сорбент [47], примененный для сорбции БК из водных сред.

Получены гибридные металл-органические материалы [48] на основе цеолитоподобных цинк-имидазолятных каркасов типа ZIF-8. Неорганический узел каркаса – ион  $Zn^{2+}$ , органический блок – 2-метилимидазол, распределенные на поверхности многослойных углеродных нанотрубок. Предельная сорбция БК на таком сорбенте (518 мг/г) выше, чем при использовании углеродных и природных материалов. Такой эффект достигается за счет равномерного распределения пор по размерам, большой площади поверхности (1237 м<sup>2</sup>/г) и высоких значений пористости (0.662 см<sup>3</sup>/г). При этом эффективность извлече-

ния обеспечивается не только поверхностью частицы, но и ее объемом.

Перспективны сорбенты с мембраноподобной структурой на основе простых и сложных эфиров (пенополиуританы), применяемые для концентрирования органических соединений различной природы, например, нафтолов, фенолов [49] и ароматических карбоновых кислот [50], различающихся гидрофобностью, константами кислотной диссоциации и заместителями в ароматическом ядре. Установлено, что степень извлечения возрастает с увеличением гидрофобности сорбатов и максимальна для СК.

Изучена сорбция фенолкарбоновых кислот (в том числе БК) новым полимером на основе стирола и дивинилбензола из водных растворов с концентрациями на уровне 10<sup>-4</sup> моль/л [51]. Полученные сорбенты не поглощают альбумин и рекомендуются для сорбции фенолкарбоновых кислот из биосред.

Сорбцию БК и СК из сточных вод осуществляют с применением концентрирующих патронов, за-

Таблица 3

Предельная сорбция ( $a_p^{\max}$ , мг/г) бензойной (БК) и салициловой (СК) кислот полимерными сорбентами из водных сред, уровень концентраций ( $c_0$ ), время достижения сорбционного равновесия ( $t$ ) и способы определения сорбатов

Table 3

Maximum sorption ( $a_p^{\max}$ , mg/g) of benzoic and salicylic acids by polymer sorbents from the aqueous medium, concentration level ( $c_0$ ), contact time ( $t$ ) and the methods of determination of the solutes

Функциональный номер	Сшивающий агент/модификатор	Сорбат	$t$ , ч	$a_p^{\max}$	$c_0$ , мг/л	Определение	Литература
Хитозан	$\beta$ -циклодекстрин / глутаровый альдегид	БК	2	253.2	500 - 2500	СФ (227.4 нм)	[47]
Цеолитоподобный цинк-имидазолятный каркас	Многостенные углеродные нанотрубки	БК	3	518	200 - 2000	ВЭЖХ	[48]
ПС, Дивинилбензол	Монохлордиметиловый эфир	БК	3	$R \sim 83\%$	$10^{-4}$ моль/л	СФ	[51]
N-винилпирролидон	Этиленгликольдиметакрилат	БК СК	1	15.1 24.0	0.1 мг/мл	СФ (272 нм)	[55]
Метилакрилат, ПС	Триаллилизотиоцианурат	СК	24	324.6	202 - 1008	СФ (295 нм)	[59]
Метилакрилат, ПС	Триаллилизотиоцианурат	СК	6	232.2	201 - 1003	СФ (274 нм)	[60]
Глицидилметакрилат	Дивинилбензол /@ $Fe_3O_4$	СК	1	228.9	97 - 984	СФ (296 нм)	[61]
Хлорметилированный ПС	Анилин	СК	8	166.3	200 – 1000	СФ (297 нм)	[62]
Метилакрилат Винилбензилхлорид	Дивинилбензол	СК	0.66	457.9	200 – 1002	СФ (297 нм)	[63]
Хлорметилированный ПС	Метиламин (марка HJ-K01)	СК	24	158.7	100 – 500	СФ (297 нм)	[64]
ПС	Дивинилбензол марки: Duolite S861 Amberlite XAD16	СК	48	43.0 85.1	100 мг/л	СФ (297 нм)	[65]

Примечание: ПС – полистирол

полненные сверхсшитыми полимерами на основе стирола (Carborack B и BondElutSAX) [52] и 2,6-дифенил-п-фениленоксида (Tenar GR) [53].

Исследована экстракция БК водорастворимыми полимерами (поли-N-винилпирролидон и поли-N-винилкапролактан) [54]. Предложен способ концентрирования БК и СК из водных растворов [55] полимером на основе N-винилпирролидона и этиленгликольдиметакрилата, полученного по методике [56].

Полимерные сетки, полученные из смесей полифункциональных олигомеров, широко применяются в качестве полимерных сорбентов для сорбции органических веществ [57, 58]. С целью увеличения количества полярных функциональных групп, удельной поверхности и пористости применяют полярные функциональные мономеры – метилакрилат [59, 60], глицидилметакрилат [61]. На их основе методом суспензионной полимеризации получены гидрофобные полимеры, которые применяли для концентрирования СК из водных сред,

при этом предельная сорбция варьируется в пределах от 228 до 325 мг/г.

Изучена сорбция СК макропористым хлорметилированным полистиролом с различным содержанием анилина, его содержание варьировалось от 4.5 до 17.3 % мас. Максимальная сорбция СК (166.3 мг/г) достигается при добавлении к полистиролу 4.72 % мас. анилина [62].

Методом тройной сополимеризации по реакции Фриделя – Крафта получен сверхсшитый полимерный сорбент на основе *n*-винилбензилхлорида и метилакрилата [63], характеризующийся высоким сродством по отношению к СК (более 457 мг/г) и меньшим временем достижения сорбционного равновесия (менее 40 минут) по сравнению с HJ-K01 [64], Amberlite XAD16, Duolite S861 [65] и другими полимерами на основе полистирола (табл. 3).

## Концентрирование и определение бензойной и салициловой кислот в пищевых продуктах

### Пробоподготовка образцов

Проблемой при проведении анализа пищевых продуктов является значительное влияние состава матрицы на результаты определения, поэтому предварительная пробоподготовка образцов должна обеспечивать выделение (изолирование) определяемых компонентов.

Распространенными способами пробоподготовки являются: перегонка с водяными паром [66-68], разбавление растворителями [69-74], гомогенизация [75-88], центрифугирование и фильтрование [89-92], разрушение пробы ультразвуком [93-98], дегазация [99] и гомогенизация с последующим обесцвечиванием концентрата реактивом Карреза 1 [84, 87, 96, 97, 100-102].

Следует учитывать, что в процессе пробоподготовки возможно дополнительное разбавление пробы и, соответственно, уменьшение концентрации определяемого компонента, поэтому перед определением БК и СК проводят их предварительное концентрирование, в том числе экстракцию органическими растворителями (дихлорметан [103], трихлорметан [104], метиловый [83, 93, 105-109] и этиловый [70, 110] спирт, этилацетат [111], диэтиловый эфир [79, 82, 112]), и их смесями: метанол / хлороформ [113], этандиовая кислота / этиловый спирт [114].

Начиная с 2000-х годов, разрабатываются относительно простые и безопасные способы экстракции БК и СК из пищевых продуктов. Кроме классической твердофазной экстракции (ТФЭ), в которой предварительно гомогенизированные пробы молочных, алкогольных напитков, соусов, джемов и т.д. пропускают через концентрирующие патроны различных марок, заполненные полимерными сорбентами [75-77, 115-117], разрабатываются и новые более совершенные варианты концентрирования. Например, ТФЭ с применением волокон [118] (в качестве носителя стационарной фазы применяют коммерческое волокно фирмы «Supelco» с различной толщиной адсорбирующей пленки), а так-

же – твердофазная, жидкостная микроэкстракция [119] и дисперсионная жидкость-жидкостная микроэкстракция, которую также используют для изоляции и предварительного концентрирования БК из водных матриц [113], напитков и пищевых продуктов [120, 121].

### Хроматографические методы определения

Наиболее широкое применение в анализе пищевых продуктов получили хроматографические методы (высокоэффективная жидкостная (ВЭЖХ), ионная (ИХ), газовая (ГХ) и тонкослойная (ТСХ)), позволяющие достаточно полно отделить определяемый компонент от примесей, проводить их идентификацию и количественное определение.

С их помощью определяют БК и СК во многих пищевых продуктах и напитках: фруктовых соках, чае [74, 122-126], уксусе [127], кетчупах [100, 128], молочных продуктах и молоке [83, 96, 97], перце [102], в красном вине [129], безалкогольных напитках, джемах, соусах, овощах, фруктах и т.д. [130, 131], сточной воде [132] в присутствии сорбиновой, дегидроуксусной, амигдалиновой кислот, парабе-нов, диметилфумарата, антрацена и различных подсластителей.

ТСХ применяют для полуколичественного определения БК. В качестве проявляющего реагента рекомендуют раствор пирогаллола А и фотосенсибилизатор трис-(2,2'-бипиридилат) рутения [133], а также – пероксид водорода и хлорид железа III [134].

Для детектирования БК и СК применяют различные детекторы: ультрафиолетовые (УФ) [82, 85, 86, 89, 91-93, 105, 106, 109-110, 114, 116, 135-142], пламенно-ионизационные [75, 76, 113, 118, 120, 146], масс-спектрометрические [93, 104, 143], кондуктометрические [80, 103], tandemные масс-спектрометрические [94], диодно-матричные (ДМ) [68, 73, 87, 88, 95, 98, 99, 101], испарительный нефелометрический [114], флуориметрический [147] и комбинированный УФ-ДМ [87, 88, 99, 101, 107] детектор. Условия детектирования БК и СК в различных объектах, применяемые подвижные и неподвижные фазы, а также пределы определения различными хроматографическими методами представлены в табл. 4.

Таблица 4

Хроматографические методы определения бензойной (БК) и салициловой кислот (СК)

Table 4

Chromatographic methods for determination of benzoic and salicylic acids

Метод определения, детектор (l, nm)	Матрица	Аналит	Неподвижная фаза (размеры колонки: длина и внутренний диаметр, размер частиц сорбента)	Подвижная фаза и условия элюирования	Предел обнаружения	Литература
ВЭЖХ, УФ (228 nm)	Почвенный раствор	БК	C <sub>18</sub> (25 см × 4 мм, 5 мкм)	0.1 % раствор муравьиной кислот / ацетонитрил : метанол (40 : 60, об.)	н.д.	[24]

Метод определения, детектор (l, nm)	Матрица	Аналит	Неподвижная фаза (размеры колонки: длина и внутренний диаметр, размер частиц сорбента)	Подвижная фаза и условия элюирования	Предел обнаружения	Литература
ВЭЖХ, УФ (292 nm)	Водный раствор	СК	Waters 600 pump	Ацетонитрил : деионизированная вода : тетрагидрофуран : фосфорная кислота (50 : 50 : 1 : 0.22, об.)	н.д.	[44]
ВЭЖХ, УФ (275 nm)	Водный раствор	БК	C <sub>18</sub>	Вода : метанол (3 : 7, об.); скорость потока – 1.0 мл/мин	н.д.	[48]
ВЭЖХ, УФ (230 nm)	Сточные воды	БК	Spherisorb ODS2 (250 × 4.6 мм, 5 мкм)	Фаза А – деионизированная вода (pH 3), Б – ацетонитрил (градиентное элюирование)	0.07 мкг/л	[52]
ВЭЖХ, УФ-ДМ (230 nm)	Варенье и соус	БК	C18 (20 × 4 мм, 5 мкм)	0.005 М ацетатный буферный раствор : метанол (70 : 30, об.)	0.5 мг/л	[68]
ВЭЖХ, ДМ (230 nm)	Алкогольные напитки, сыры, натуральные соки, сушеные фрукты, кондитерские изделия, сосиски и колбасы	БК	C <sub>18</sub> (220 × 4.6 мм, 5 мкм)	Фаза А – 0.5 % ацетатный буферный раствор, Б – уксусная кислота : ацетонитрил - вода; скорость потока – 1.5 мл/мин (градиентное элюирование)	0.20 мг/кг	[73]
ГХ, ПИД	Молоко	БК	Sigma 3B CP Sil 88 (25 м × 0.25 мм)	Гелий, температурное инжектирование (180 – 230 °C)	н.д.	[75]
ГХ, ПИД	Непастеризованное молоко	БК	Agilent HP-5 (60 м × 0.25мм, толщина пленки – 0.5 мкм)	Гелий, температурное инжектирование (40 – 240 °C)	н.д.	[76]
ИХ, КД	Сыры	БК	IonPac AS11-HC (250 × 4 мм, 13 мкм)	Фаза А – 38.25 mM NaOH, Б – 0.5 M NaOH; скорость потока – 1 мл/мин, вводимый объем – 25 мкл (градиентное элюирование)	0.27 мг/мл	[80]
ВЭЖХ, УФ (228 nm)	Газированные напитки, фруктовые соки, маргарин, йогурты, творог и плавленый сыр	БК	C <sub>18</sub> , Nova-Pak (30 см × 3.9 мм, 4 мкм)	Вода: ацетонитрил : аммонийно-ацетатный буферный раствор, pH 4.2 (81 : 17 : 2, об.); скорость потока – 1 мл/мин, вводимый объем – 20 мкл	0.06 – 0.20 мкг/мл	[82]
ВЭЖХ, УФ-ДМ (230 nm)	Молоко и молочные продукты	БК	Agilent XDB-C18 (250 × 4.6 мм, 5 мкм)	Метанол : аммонийно-ацетатный буферный раствор; скорость потока – 1.5 мл/мин (изократический режим элюирования)	0.2 мг/кг	[84]

Метод определения, детектор (l, nm)	Матрица	Аналит	Неподвижная фаза (размеры колонки: длина и внутренний диаметр, размер частиц сорбента)	Подвижная фаза и условия элюирования	Предел обнаружения	Литература
ВЭЖХ, УФ (254 nm)	Кетчупы, газированные и негазированные напитки и вкусовые концентраты	БК	SEPARON SGX C-18 (150 × 3.3 мм, 7 мкм)	Метанол : вода : ацетатный буферный раствор (40 : 40 : 20, об); скорость потока – 0.5 мл/мин	4.0 мг/л	[85]
ВЭЖХ, УФ (230 nm)	Кетчупы, варенье, приправы и соевые огурцы	БК	Pursuit C18 (250 × 4.6 мм, 10 мкм)	Фосфатный буферный раствор : метанол (70 : 30, об.), скорость потока – 0.8 мл/мин, вводимый объем – 10 мкл	0.5 мг/кг	[86]
ВЭЖХ, УФ-ДМ (230 nm)	Сыры	БК	Phenomenex HyperClone ODS C18 (250 × 4 мм, 5 мкм)	Метанол : 0.02 М ацетатно-амонийный буферный раствор (4 : 96, об); скорость потока – 1.0 мл/мин, вводимый объем – 20 мкл.	н.д.	[87]
ВЭЖХ, УФ-ДМ (225 nm)	Сыры	БК	Supelcosil LC-18 (250 × 4.6 мм, 5 мкм)	Ацетатный буферный раствор : ацетонитрил (90 :10, об.); скорость потока – 0.8 мл/мин, вводимый объем – 10 мкл	н.д.	[88]
ВЭЖХ, УФ (234 nm)	Соки	БК	C-18 Lichrosorb RP18	Ацетонитрил : ацетатный буферный раствор (20 : 80, об); скорость потока – 1 мл/мин, вводимый объем – 20 мкл	н.д.	[89]
ВЭЖХ, УФ (220 nm)	Безалкогольные напитки и нектары	БК	C18 (250 × 4.6 мм, 5 мкм)	Дигидрофосфат калия : ацетонитрил (90 :10, об.) / фосфорная кислота, скорость потока – 1.0 мл/мин	7.0 мг/л	[91]
ВЭЖХ, УФ (235 nm)	Безалкогольные напитки и нектары	БК	Hichrom C18 (250 × 4.6 мм, 5 мкм)	Дигидрофосфат калия : ацетонитрил (85 :15, об.) / фосфорная кислота; скорость потока – 0.7 мл/мин	3.0 мг/л	[92]
ГХ, МС	Безалкогольные напитки и вода	БК	J&W Scientific (30 м × 0.25 мм, толщина пленки – 0.25 мкм)	Гелий, температурное инжектирование (150 – 280 °С)	0.1 мкг/л	[93]
ИХ, ТМС	Сыры	БК	Zorbax 300SB-C8 (150 × 4.6 мм, 5 мкм)	Фаза А – трифторуксусная кислота и ацетонитрил, Б – трифторуксусная кислота и вода; скорость потока –1мл/мин (градиентное элюирование)	0.26 мг/кг	[94]



Метод определения, детектор (l, nm)	Матрица	Аналит	Неподвижная фаза (размеры колонки: длина и внутренний диаметр, размер частиц сорбента)	Подвижная фаза и условия элюирования	Предел обнаружения	Литература
ВЭЖХ, УФ-ДМ (235 nm)	Безалкогольные напитки, кондитерские изделия, рыба, творог, сыры, йогурты и т.д.	БК	LiChrospher RP Select B (250 × 4.6 мм, 5 мкм)	Фаза А – аммонийно-ацетатный буферный раствор, Б – ацетонитрил, С – сверхчистая вода (градиентное элюирование)	2.5 мг/л	[95]
ВЭЖХ, ДМ (227 nm)	Сыры	БК	Lichrosorb C18 (250 × 4.6 мм, 5 мкм)	Фаза А – 0.1 % трифторуксусная кислота, Б – 0.1 % трифторуксусная кислота / ацетонитрил : тетрагидрофуран (5:1, об.); скорость потока – 1.0 мл/мин (градиентное элюирование)	1.7 мкг/г	[98]
ВЭЖХ, УФ-ДМ (217 nm)	Безалкогольные напитки	БК	DS Hypersil C18 (250 × 4.6 мм, 5 мкм)	Фосфатный буферный раствор / ацетонитрил	1.0 мг/л	[99]
ВЭЖХ, УФ-ДМ (254 nm)	Хлеб, фруктовые и овощные соки, салаты, рыба	БК	Supelguard LC-18-DB (20 × 4 мм, 5 мкм)	Ацетат натрия : метанол : деионизированная вода; скорость потока – 1.0 мл/мин	5.0 мг/л	[101]
ГХ, КД	Варенье, безалкогольные напитки, фрукты, томатная паста и молочные продукты	БК	Rtx-5MS (30 м × 0.25 мм, толщина пленки – 0.25 мкм)	Гелий, температурное инжектирование (80 – 280 °C)	2.23 мг/кг	[103]
ГХ, МС	Фруктовые соки	БК	DB-5 (30 м × 0.25 мм, толщина – 0.32 мкм)	Гелий, температурное инжектирование (150 – 300 °C)	0.05 мкг/г	[104]
ВЭЖХ, УФ (230 nm)	Томаты и соусы	БК	C <sub>18</sub> (300 × 3.9 мм)	Фосфатный буферный раствор : ацетонитрил (6 : 4, об.); скорость потока – 1 мл/мин, вводимый объем – 20 мкл (изократический режим элюирования)	5.0 мг/кг	[106]
ВЭЖХ, УФ-ДМ (250 nm)	Соусы, йогурты, супы, чипсы и шоколад	БК	C <sub>18</sub> (4.6 × 250 мм, 5 мкм)	Ацетатный буферный раствор : метанол (65 : 35, об.), скорость потока – 1.0 мл/мин, вводимый объем – 20 мкл.	0.02 мг/кг	[107]
ВЭЖХ, УФ (235 nm)	Соусы, сиропы, крупы, хлебобулочные изделия, сливки, консервы и т.д.	БК	C18 Hi-Chrom (4.6 × 250 мм, 5 мкм)	0.1 М ацетатный буферный раствор : ледяная уксусная кислота / метанол	3.2 мг/кг	[108]

Метод определения, детектор (I, нм)	Матрица	Аналит	Неподвижная фаза (размеры колонки: длина и внутренний диаметр, размер частиц сорбента)	Подвижная фаза и условия элюирования	Предел обнаружения	Литература
ВЭЖХ, УФ (235 нм)	Фруктовые соки	БК	Spherisorb S <sub>10</sub> ODS <sub>2</sub> (250 × 4.6 мм, 10 мкм)	0.005 М ацетатный буферный раствор : метанол (35: 65, об.)	2 мкг/мл	[109]
ВЭЖХ, УФ (226 нм)	Йогурты, сыры и айран	БК	Sep-Pak C <sub>18</sub> (250 × 4.6 мм, 5 мкм)	Ацетатный буферный раствор : метанол (65 : 35, об.); скорость потока – 0.8 мл/мин, вводимый объем – 20 мкл	0.05–0.09 мг/кг	[110]
ГК, ПИД	Сточные воды	БК	Agilent HP-5 (30 м × 0.32 мм, толщина пленки – 0.25 мкм)	Азот, температурное инжектирование (150 – 260 °С)	0.5 мкг/л	[113]
ВЭЖХ, УФ (240 нм)	Сыры, маргарин, салаты, спред на жировой основе, безалкогольные напитки	БК	Hichrom C18 (длина – 10 см)	Аммонийно-ацетатный буферный раствор / ацетонитрил (градиентное элюирование)	н.д.	[114]
ВЭЖХ, УФ (235 нм)	Сточные воды	БК	Waters SPHERISORB S100DS2 (250 × 4.6 мм)	0.01 М аммонийно-ацетатный буферный раствор : метанол (60 : 40, об.), скорость потока – 1 мл/мин; объем пробы – 20 мл	0.2 мг/л	[116]
ГХ, ПИД	Газированные напитки	БК	AT. FFAP (20 м × 0.32 мм, толщина пленки – 0.5 мкм)	Азот, температурное инжектирование (150 – 260 °С)	11.4 мкг/л	[118]
ГХ, ПИД	Молочные продукты	БК	CD wax 52 CB (30 м × 0.25 мм, толщина пленки – 0.25 мкм)	Гелий, температурное инжектирование (150 – 270 °С)	140 нг/г	[120]
ВЭЖХ, УФ (210 нм)	Красное вино	БК	Gemini C18 (250 × 4.6 мм, 5 мкм).	Фаза А – трифторуксусная кислота : вода; Б – ацетонитрил; скорость потока – 1 мл/мин; объем пробы – 10 мкл	0.23 мг/л	[129]
ГХ, МС	Торт, соевый соус, уксус, варенье, ветчина, напитки, фасоль	БК	DB-FFAP (30 м × 0.25 мм, толщина пленки – 0.25 мкм)	Гелий, температурное инжектирование (50 – 250 °С)	0.21 мг/кг	[130]
ВЭЖХ, УФ (254 нм)	Безалкогольные напитки, джемы, соусы, консервированные/сушеные фрукты и овощи и т.д.	БК	Supelco 516 C <sub>18</sub> (15 см × 4.6 мм, 5 мкм)	Фаза А – метанол : ацетатный буферный раствор, 35 : 65, об.; Б – 50 : 50, об.; вводимый объем – 20 мкл (градиентное элюирование)	0.5 мг/л	[131]

Метод определения, детектор (l, нм)	Матрица	Аналит	Неподвижная фаза (размеры колонки: длина и внутренний диаметр, размер частиц сорбента)	Подвижная фаза и условия элюирования	Предел обнаружения	Литература
ВЭЖХ, УФ (255 нм)	Фрукты, соки, соевые соусы, кетчупы, арахисовое масло, сыры и др.	БК	Supelcosil LC-18 (25 см × 4.6 мм, 5 мкм)	Скорость потока – 0.8 мл/мин; объем пробы – 10 мкл.	1.0 мг/л	[135]
ВЭЖХ, УФ (235 нм)	Кетчупы	БК	Inertsil ODS-3 (250 × 4.6 мм; 5 мкм)	0.005 М ацетатный буферный раствор : метанол (65: 35, об.); скорость потока – 1 мл/мин, вводимый объем – 20 мкл	6.81 мг/ кг	[136]
ВЭЖХ, УФ (230 нм)	Водные среды	БК	Sep-Pak C <sub>18</sub> (200 × 4.6 мм, 5 мкм)	Метанол : вода (55 : 45, об); скорость потока – 0.8 мл/мин, вводимый объем – 20 мкл	0.8 нг/мл	[137]
ВЭЖХ, УФ (226 нм)	Фармацевтические препараты	БК	ZORBAX (250 × 4.6 мм, 5 мкм)	Вода : ацетонитрил (55 : 45, об.)	0.35 мкг/мл	[138]
ВЭЖХ, УФ (230 нм)	Газированные напитки, колбаса	БК	Sep-Pak C <sub>18</sub> (150 × 4.6 мм, 5 мкм)	Метанол : 0.02 М аммонийно-ацетатный буферный раствор (15 : 85, об); скорость потока – 1.0 мл/мин, вводимый объем – 10 мкл	2.1 мкг/л	[139]
ВЭЖХ, УФ (230 нм)	Молоко	БК	SP Column MF C (150 × 4.6 мм, 5 мкм)	Фаза А – 0.1 % раствор гидроксида тетрабутиламмония, Б – ацетонитрил (градиентное элюирование)	0.08 мкг/л	[140]
ВЭЖХ, УФ (230 нм)	Молоко	БК	SP Column MF C (150 × 4.6 мм, 5 мкм)	Фаза А – 0.1 % раствор гидроксида тетрабутиламмония, Б – ацетонитрил (градиентное элюирование)	1 – 4 мкг/мл	[141]
ВЭЖХ, УФ (230 нм)	Биопробы	БК	C <sub>18</sub> (250 × 4.6 мм, 5 мкм)	Ацетат аммония : метанол (95:5, об.); скорость потока – 1 мл/мин, объем пробы – 10 мкл	н.д.	[142]
ВЭЖХ, МС	Молоко и говядина	СК	C <sub>18</sub> (150 × 2.1 мм, 5 мкм)	Фаза А – вода: ацетонитрил (95:5, об.), Б – ацетонитрил : 0.1 % уксусная кислота (градиентное элюирование)	25 мкг/кг	[143]
ВЭЖХ, ИНД	Водные среды	СК	ACCHROM (150 × 4.1 мм; 5 мкм)	Температура колонки – 30 °С; скорость потока – 1 мл/мин	н.д.	[144]

Метод определения, детектор (I, нм)	Матрица	Аналит	Неподвижная фаза (размеры колонки: длина и внутренний диаметр, размер частиц сорбента)	Подвижная фаза и условия элюирования	Предел обнаружения	Литература
ВЭХЖ, УФ (235 нм)	Фруктовые соки, сиропы и безалкогольные напитки	СК	C <sub>18</sub> (50 × 4.6 мм, 5 мкм)	1 % ацетонитрил и ацетат аммония (pH 4.5); скорость потока – 1.20 мл/мин	0.3 мг/л	[145]
ВЭЖХ, ПИД	Текила	БК СК	Luna C <sub>18</sub> (150 × 2 мм, 3 мкм)	Ацетонитрил	56.4 9.24 мкг/л	[146]
ВЭЖХ, ФД (405 нм)	Специи, напитки, фрукты и овощи	СК	C <sub>8</sub> (150 × 4.6 мм; 5 мкм)	Ацетонитрил : вода (80:20, об.), скорость потока – 1 мл/мин, вводимый объем – 20 мкл	1 мкг/мл	[147]

Примечание: детекторы: УФ – ультрафиолетовый, ПИД – пламенно-ионизационный, МС – масс-спектрометрический, КД – кондуктометрический, ТМС – tandemный масс-спектрометрический, ДМ – диодно-матричный, ИНД – испарительный нефелометрический, ФД – флуориметрический; н.д. – нет данных.

### Электрохимические методы определения

Для определения БК и СК в водных средах и фармацевтических препаратах применяют вольтамперометрию (производная, с прямоугольным сигналом, с линейной разверткой потенциала, дифференциально-импульсная, циклическая) и амперометрию, при этом используют различные рабочие электроды и электроды сравнения. В табл. 5 представлен состав фоновых растворов, а также – электрохимические характеристики определения (скорость развертки потенциала, потенциал максимума тока пика, диапазон сканирования потенциала).

Поверхность электродов модифицируют гидроталькитом [158], углеродными нанотрубками [155], наночастицами металлов [156, 157], полимерными [152, 163, 164], гибридными [159, 160] материалами или иммобилизируют различными ферментами (например, лизиноксилаза и тирозин) с применением кросс-сшивки ферментного слоя глутаровым альдегидом [148, 149, 151].

### Капиллярный электрофорез

Метод капиллярного электрофореза (КЭ), вследствие минимального объема пробы и расхода реагентов, высокой эффективности разделения, перспективен для селективного определения БК и СК. В России КЭ применяется для определения содержания БК в алкогольных (виноматериалы, вина, пиво) и безалкогольных (соки, газированные напитки) напитках [69]. Определение рекомендовано проводить на системе КЭ «Капель» [122].

Аналогичная система применялась для определения БК в безалкогольных [90] (зеленый и черный листовой чай) и алкогольных напитках [125]. Основы теории, режимов проведения КЭ, характеристики образцов и анализируемых соединений, в

том числе БК, подробно рассмотрены в зарубежных обзорах [165, 166].

### Спектрометрические методы определения

В спектре БК и СК имеются четкие максимумы поглощения в УФ-области, что позволяет проводить их определение по величине оптической плотности, как в водных средах (табл. 1-3), так и пищевых продуктах [56-61, 66, 69, 105]. Однако спектрометрическое определение БК и СК не отличается высокой селективностью (их спектры поглощения перекрываются спектрами поглощения других органических компонентов). Недостаточная избирательность этих методов ограничивает их использование.

### Выводы

Для концентрирования БК и СК из водных сред, в том числе из сточных вод и почвенных вытяжек широкое применение нашли органо-неорганические полимерные композиционные материалы на основе глин (бентонит, монтмориллонит, вермикулиты), коммерческие гранулированные активные угли, биоугли, полимерные сорбенты природного и синтетического происхождения.

Наибольшее значения предельной сорбции и меньшее время сорбционного равновесия установлено при применении гибридных металл-органических материалов и синтезированных полимерных сорбентов, поэтому их можно рекомендовать для концентрирования БК и СК из водных сред, а БУ магнитные – для сточных вод и почвенных вытяжек.

Определение БК и СК в различных объектах рекомендуют проводить хроматографическими (высокоэффективная жидкостная, ионная, газовая, тонкослойная хроматография), электрохимически

Таблица 5

Электрохимические методы определения бензойной (БК) и салициловой кислот (СК)

Table 5

Electrochemical determination of benzoic and salicylic acids

Ана-лит	Матрица (фоновый раствор)	Электроды срав-нения / рабочие	Метод опре-деления	Электрохимические характери-стики определения			Предел обнаруже-ния, мкмоль/л	Литера-тура
				Скорость развертки потенциала, мВ/с	Потенциал максиму-ма тока пика, В	Диапазон сканиро-вания потен-циалов, В		
БК	Косметические сред-ства (0.1 М натрий-фос-фатный буферный рас-твор, pH 6.5)	ХСЭ / УПЭ	АМ	100	0.6	-0.6 – 1.1	71.6	[148]
БК	Алкогольные напитки (0.5 М буферный рас-твор Бриттона-Робин-сона, pH 6.0)	КЛ / Pt	АМ	–	0.7	–	0.3	[149]
СК	Фарм. препараты (0.1 М натрий-фос-фатный буферный раствор, pH 9.0)	ХСЭ и СУ / УПЭ	АМ	100	-0.1	-0.2 – 0.1	3.5	[150]
СК	Фарм. препараты (0.1 М натрий-фос-фатный буферный раствор, pH 7.5)	КЛ и ХСЭ / Pt	ЦВМ	200	0.7	-0.255 – 1.225	1.0	[151]
СК	Фарм. препараты (0.1 М натрий-фос-фатный буферный раствор и 0.1 М NaCl, pH 7.2)	ХСЭ / Pt элект-род, модифици-рованный ППЛ	ДИВА	50	-0.4	-0.8 – 0.8	0.8	[152]
СК	Биологические пробы (0.50 М KCl и 0.01 М КОН, pH 12.0)	Hg / графитово-эпоксидный	ДИВА	50	0.53	-0.5 – 0.55	5	[153]
СК	Фарм. препараты (0.5 М NaOH)	ХСЭ / СУ, моди-фицированный @Ni	ЦВА	50	0.55	0.25– 0.75	0.5	[154]
СК	Фарм. препараты (0.3 М NaOH)	ХСЭ и Pt / СУ, мо-дифицированный МУНТ	АМ	100	0.5	0 – 0.8	0.8	[155]
СК	Фарм. препараты (0.1 М натрий-фос-фатный буферный раствор, pH 7.0)	КЛ / СУ, враща-ющийся Pt элект-род, модифици-рованный @ Pt	АМ	100	0.3	-0.2 – 1.0	6.4	[156]
СК	Биопробы (0.2 М ацетатный бу-ферный раствор, pH 4.0)	КЛ / СУ, золотой электрод, моди-фицированный @ Cu	ДИВМ	100	0.55	0 – 0.6	0.1	[157]
СК	Фарм. препараты (боратный буферный раствор, pH 10)	КЛ / Co-Al элект-род, модифици-рованный гидро-талькидом	ДИВА	50	0.7	-0.2 – 1.3	6	[158]

Ана-лит	Матрица (фоновый раствор)	Электроды сравнения / рабочие	Метод определения	Электрохимические характеристики определения			Предел обнаружения, мкмоль/л	Литература
				Скорость развертки потенциала, мВ/с	Потенциал максимума тока пика, В	Диапазон сканирования потенциалов, В		
СК	Водный раствор (0.2 М NaOH)	КЛ / СУ, модифицированный @ хитозана и графена	ЦВА	100	0.45	0 – 0.6	$1.3 \times 10^{-4}$	[159]
СК	Фарм. препараты (NaOH)	ХСЭ / СУ, модифицированный гибридными материалом на основе восстановленного оксидом графена и гексациано-феррата лютеция	АМ	50	-1.0	-1.5 – 0	0.49	[160]
СК	Фарм. препараты (0.1 М Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH 7)	КЛ / допированный бором алмазный электрод	ДИВМ и ХА	30	0.9	0 – 1.25	1	[161]
СК	Фарм. препараты (0.01 М H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	ХСЭ / допированный бором алмазный электрод	ВАП	50	1.97	1.7 – 2.3	2	[162]
СК	Фарм. препараты (0.1 М натрий-фосфатный буферный раствор, pH 7.0)	Биоэлектрод, на основе ППУ	ЦВА	50	0.9	-0.7 – 1.3	0.089	[163]
СК	Фарм. препараты (0.5 М буферный раствор Бриттона-Робинсона, pH 2.37)	ХСЭ / СУ, модифицированный ППУ	ЦВА	40	1.09	0 – 1.5	1.04 мк/мл	[164]

Примечания: ХСЭ – хлорсеребряный, КЛ – каломельный, УПЭ – угольно-пастовый, СУ – стеклоглеродный электрод; АМ – амперометрия, ВА – вольтамперометрия, ДИВА – дифференциально-импульсная вольтамперометрия, ЦВА – циклическая вольтамперометрия, ВАП – вольтамперометрия с прямоугольным сигналом, ХА – хронометрия; ППУ – полипиррол, МУНТ – многостенные углеродные нанотрубки; фарм. – фармацевтические.

ми, спектральными методами анализа или капиллярным электрофорезом

Хроматографические методы пригодны для экспрессного определения БК и СК в алкогольных, безалкогольных напитках и пищевых продуктах. Практически все способы определения, перечисленные в обзоре, предусматривают предварительное выделение аналитов из пищевого продукта, что увеличивает время анализа и при этом они не всегда доступны, поэтому необходима разработка комбинированных методов с применением сорбционного концентрирования на материалах различной природы или экстракции, позволяющих практически полностью отделить определяемый компонент от матрицы.

Актуально импортозамещение полимерных материалов не только на стадиях производства полимерных сорбентов, но и аналитического контроля, а также – снижения стоимости единичного анализа при мониторинге содержания изученных аналитов с использованием «бюджетных» методов контроля. Перспективным является ТСХ со спектрометрическим или люминесцентным детектированием, а также сорбционно-люминесцентные методы и капиллярный электрофорез.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств: технический регламент Таможенного союза ТР ТС 029/2012. от 20.07. 2012 г., № 58.
2. Excessive allergy due to benzoic acid followed by anaphylactic shock / I. Pevny [et al.] // *Derm. Beruf. Umwelt*. 1981. V. 29, № 5. P. 123-130.
3. Булдаков А. С. Пищевые добавки. М.: ДеЛипринт, 2003. 436 с.
4. Is food allergen analysis flawed? Health and supply chain risks and a proposed framework to address urgent analytical needs / M.J. Walker [et al.] // *Analyst*. 2016. V. 141, № 1. P. 24-35.
5. Indirect human exposure to pharmaceuticals via drinking water / S. Webb [et al.] // *Toxicol. Lett.* 2003. V. 142, № 3 P. 157-167.
6. Reevaluation of benzoic acid (E 210), sodium benzoate (E 211), potassium benzoate (E 212) and calcium benzoate (E 213) as food additives / F. Aguilar [et al.] // *EFSA Journal*. 2016. V. 14, № 3. P. 4433-4543.
7. SCF (Scientific Committee on Food). Opinion of the Scientific Committee on Food on Benzoic acid and its salts [Электронный ресурс] [https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/sci-com\\_scf\\_out137\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/sci-com_scf_out137_en.pdf) (дата обращения 15.09.2017).
8. Sodium benzoate-induced repeated episodes of acute urticaria/angio-oedema: randomized controlled trial / E. Netis [et al.] // *Br. J. Dermatol.* 2004. V. 151, № 4. P. 898-902.
9. Griffiths J. WHO model prescribing information - drugs used in skin diseases // *Clin. Exp. Dermatol.* 1999. V. 24, № 1. P. 1365-2230.
10. Fent K., Weston A.A., Caminada D. Ecotoxicology of human pharmaceuticals // *Aquat. Toxicol.* 2006. V. 76, № 2. P. 122-159.
11. Tremblay G.C., Qureshi I.A. The biochemistry and toxicology of benzoic acid metabolism and its relationship to the elimination of waste nitrogen // *Pharmacol. Ther.* 1993. V. 60, № 1. P. 63-90.
12. Personal exposure to volatile organic compounds. Direct measurements in breathing-zone air, drinking water, food, and exhaled breath / L.A. Wallace [et al.] // *Environ. Res.* 1984. V. 35. P. 293-319.
13. Caliman F.A., Gavrilescu M. Pharmaceuticals, personal care products and endocrine disrupting agents in the environment (A review) // *Clean - Soil, Air, Water*. 2009. V. 37, № 4-5. P. 277-303.
14. Genotoxic activity of important nitrobenzenes and nitroanilines in the Ames test and their structure-activity relationship / N. Assmann [et al.] // *Mutat. Res., Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.* 1997. V. 395, № 2-3. P. 139-144.
15. Амелин В.Г., Лаврухина О.И. Обеспечение безопасности пищевых продуктов средствами химического анализа // *Журн. аналит. химии*. 2017. Т. 72, № 1. С. 3-49.
16. Виноградные вина, проблемы оценки их качества и региональной принадлежности / Ю.Ф. Якуба [и др.] // *Аналитика и контроль*. 2014. Т.18, № 4. С. 344-372.
17. Park Y., Ayoko G.A., Frost R.L. Application of organoclays for the adsorption of recalcitrant organic molecules from aqueous media / *J. Colloid Interface Sci.* 2011. V. 354, № 1. P. 292-305.
18. Adsorption of hydrocarbons on organo-clays - implication for oil spill remediation / O. Carmody [et al.] // *J. Colloid Interface Sci.* 2007. V. 305, № 1. P. 17-24.
19. Structural characterisation and environmental application of organoclays for the removal of phenolic compounds / Y. Park [et al.] // *J. Colloid Interface Sci.* 2013. V. 393, № 1. P. 319-334.
20. Adsorption of benzoic acid by CTAB exchanged montmorillonite / L.G. Yan [et al.] // *Applied Clay Science*. 2007. V. 37, № 3-4. P. 226-230.
21. Третьякова В.Д., Бахов Ф.Н., Демидёнок К.В. Повышение характеристик композиционных материалов на основе полиамида посредством модификации наночастицами монтмориллонита // *Интернет-журнал Науковедение*. 2011. № 4. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/sbornik9/9-2.pdf> (дата обращения 17.06.2017).
22. Adsorption of benzoic acid and hydroquinone by organically modified bentonites [Text] / N. Yildiz [et al.] // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2005. V. 260, № 1-3. P. 87-94.
23. Preparation, characterization and adsorption performance of cetyl pyridine bromide modified bentonites / X. Xin. [et al.] // *J. Inorg. Organomet. Polym.* 2012. V. 22, № 1. P. 42-47.
24. Chefetz B., Eldad S., Polubesova T. Interactions of aromatic acids with montmorillonite: Ca<sup>2+</sup>- and Fe<sup>3+</sup>-saturated clays versus Fe<sup>3+</sup>-Ca<sup>2+</sup>-clay system // *Geoderma*. 2011. V. 160, № 3-4. P. 608-613.
25. The adsorption of salicylic acid, acetylsalicylic acid and atenolol from aqueous solutions onto natural zeolites and clays: clinoptilolite, bentonite and kaolin / V. Rakić [et al.] // *Micro-porous and Mesoporous Materials*. 2013. V. 166. P. 185-194.
26. Tang J., Yang Z.F., Yi Y.J. Enhanced adsorption of methylo-range by vermiculite modified by cetyltrimethylammonium bromide (CTMAB) // *Procedia Environ. Sci.* 2012. V. 13. P. 2179-2187.
27. Simpson J.A., Bowman R.S. Nonequilibrium sorption and transport of volatile petroleum hydrocarbons in surfactant-modified zeolite // *J. Contam. Hydrol.* 2009. V. 180, № 1-2. P. 1-11.
28. Modification of vermiculite by polymerization and carbonization of glycerol to produce highly efficient materials for oil removal / M.A. Medeiros [et al.] // *Appl. Clay Sci.* 2009. V. 45, № 4. P. 213-219.
29. Effect of dispersed hydrophilic silicon dioxide nanoparticles on batch adsorption of benzoic acid from aqueous solution using modified natural vermiculite: an equilibrium study / E.S. Pouya [et al.] // *Journal of Applied Research and Technology*. 2016. V. 14, № 5. P. 325-337.
30. Theoretical and experimental studies of benzoic acid batch adsorption dynamics using vermiculite-based adsorbent / S. Pouya [et al.] // *Chem. Eng. Res. Des.* 2015. V. 93. P. 800-811.
31. Adsorption of benzoic acid from aqueous solution by three kinds of modified bentonites / X. Xin [et al.] // *J. Colloid Interface. Sci.* 2011. V. 359, № 2. P. 499-504.
32. Batch adsorptive removal of benzoic acid from aqueous solution onto modified natural vermiculite: Kinetic, isotherm and thermodynamic studies / E.S. Pouya [et al.] // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2015. V. 31. P. 199-215.
33. Ayranci E., Duman O. Adsorption of aromatic organic acids onto high area activated carbon cloth in relation to wastewater purification // *J. Hazard. Mater.* 2006. V. 136, № 3. P. 542-552.
34. Chern J.M., Chien Y.W. Adsorption isotherms of benzoic acid onto activated carbon and breakthrough curves in fixed-bed columns [Text] // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2001. V. 40, № 17. P. 3775-3780.
35. Yenkie M.N., Natarajan G.S. Adsorption equilibrium studies of some aqueous aromatic pollutants on granular ac-

- tivated carbon samples [Text] // Sep. Sci. Technol. 1991. V. 26, № 5. P. 661-674.
36. Haghseresht F., Nouri S., Lu G.Q. Effects of the solute ionization on the adsorption of aromatic compounds from dilute aqueous solutions by activated carbon // Langmuir. 2002. V. 18, № 5. P. 1574-1579.
  37. Otero M., Grande C.A., Rodrigues A.E. Adsorption of salicylic acid onto polymeric adsorbents and activated charcoal // React. Funct. Polym. 2004. V. 60. P. 203-213.
  38. Characterization of bio-oils produced from fast pyrolysis of corn stalks in an auger reactor / C.U. Pittman [et al.] // Energy and Fuels. 2012. V. 26, № 6. P. 3816-3825.
  39. Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent (a critical review) / D. Mohan [et al.] // Bioresour. Technol. 2014. V. 160. P. 191-202.
  40. Modeling and evaluation of chromium remediation from water using low cost bio-char, a green adsorbent / D. Mohan [et al.] // J. Hazard. Mater. 2011. V. 188, № 1-3 P. 319-333.
  41. Sorptive removal of salicylic acid and ibuprofen from aqueous solutions using pine wood fast pyrolysis biochar / M. Essandoh [et al.] // Chem. Eng. J. 2015. V. 265. P. 219-227.
  42. Influence of biofilm on activated carbon on the adsorption and biodegradation of salicylic acid in wastewater / R.G. Combarros [et al.] // Water Air Soil Pollut. 2014. V. 225. P. 1858-1870.
  43. Huang J., Wang G., Huang K. Enhanced adsorption of salicylic acid onto a  $\beta$ -naphthol-modified hypercross-linked poly (styrene-co-divinylbenzene) resin from aqueous solution // Chem. Eng. J. 2011. V. 168, № 2. P. 715-721.
  44. Adsorption selectivity of salicylic acid and 5-sulfosalicylic acid onto hypercrosslinked polymeric adsorbents / F. Liu [et al.] // Front. Environ. Sci. Eng. 2007. V. 1, № 1. P. 73-78.
  45. Salicylic acid and 4-nitroaniline removal from water using magnetic biochar: an environmental and analytical experiment for the undergraduate laboratory / A.G. Karunanayake [et al.] // J. of Chem. Educ. 2016. V. 93, № 11. P. 1935-1938.
  46. Rapid removal of salicylic acid, 4-nitroaniline, benzoic acid and phthalic acid from wastewater using magnetized fast pyrolysis biochar from waste Douglas fir / A.G. Karunanayake [et al.] // Chem. Eng. J. 2017. V. 319. P. 75-88.
  47. Chai K., Ji H. Dual functional adsorption of benzoic acid from wastewater by biological-based chitosan grafted  $\beta$ -cyclodextrin // Chem. Eng. J. 2012. V. 203. P. 309-318.
  48. Synthesis of novel microporous nanocomposites of ZIF-8 on multiwalled carbon nanotubes for adsorptive removing benzoic acid from water / Dai J. [et al.] // Chem. Eng. J. 2018. V. 331. P. 64-74.
  49. Калинкина С.П., Суханов П.Т., Коренман Я.И. Экстракционно-сорбционное извлечение нафтолов из водных сред с применением пенополиуретана // Химия и технология воды. 2002. Т. 24, № 3. С. 257-260.
  50. Сорбция ароматических карбоновых кислот на пенополиуретанах / О.М. Медведева [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2002. Т. 43, № 2. С. 25-27.
  51. Синтез и адсорбционные свойства сорбентов ограниченного доступа на базе сверхсшитого полистирола / А.Ю. Попов [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. 2017. Т. 17, № 2. С. 183-190.
  52. Masque N., Marce R.M., Borrull F. Comparison of different sorbents for on-line solid-phase extraction of pesticides and phenolic compounds from natural water followed by liquid chromatography // J. Chromatogr. A. 1998. V. 793, № 2. P. 257-263.
  53. Ozone artifacts and carbonyl measurements using tenax GR, Tenax TA, Carboxpack B, and Carboxpack X adsorbents / J.H. Lee [et al.] // Journal of the Air and Waste Management Association. 2006. V. 56, № 11. P. 1503-1517.
  54. Экстракция и сорбция бензойной кислоты из водных растворов полимерами на основе N-виниламидов / А.Г. Саввина [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 1. С. 154-158.
  55. Сорбция ароматических кислот из водных растворов полимером на основе N-винилпирролидона / А.А. Кушнir [и др.] // Журн. прикл. химии. 2016. Т. 89, № 6. С. 730-735.
  56. Сорбционное концентрирование 4-нитрофенола полимерами на основе циклических N-виниламидов из водных сред / Е.В. Чурилина [и др.] // Журн. аналит. химии. 2015. Т. 70, № 2. С. 138-143.
  57. Polyurethane interpenetrating polymer networks. I. Synthesis and morphology of polyurethane-poly (methylmethacrylate) interpenetrating polymer networks / S.C. Kim [et al.] // Macromolecules. 1976. V. 9. P. 258-263.
  58. Tabka M.T., Widmaier J.M., Meyer G.C. In situ sequential polyurethane poly(methyl methacrylate) interpenetrating polymer networks: structure and elasticity of polyurethane networks // Macromolecules. 1989. V. 22, № 4. P. 1826-1833.
  59. Huang J., Li Y. Hydrophobic-hydrophilic interpenetrating polymer networks (IPNs) composed of hydrophobic polystyrene (PST) and hydrophilic polyacryldiethylenetriamine (PA-DETA) networks and their high efficient adsorption to salicylic acid // Fluid Phase Equilib. 2016. V. 427. P. 384-389.
  60. A novel post-cross-linked polystyrene/polyacryl diethylenetriamine (PST pc/PADETA) interpenetrating polymer networks (IPNs) and its adsorption towards salicylic acid from aqueous solutions / Huang J. [et al.] // Chem. Eng. J. 2014. V. 248. P. 216-222.
  61. A novel hydrophilic-hydrophobic magnetic interpenetrating polymer networks (IPNs) and its adsorption towards salicylic acid from aqueous solution / Z. Fu [et al.] // Chem. Eng. J. 2015. V. 279. P. 250-257.
  62. Aniline modified hypercrosslinked polystyrene resins and their adsorption equilibriums, kinetics and dynamics towards salicylic acid from aqueous solutions / X. Wang [et al.] // Chem. Eng. J. 2013. V. 233. P. 124-131.
  63. Fu Z., Huang J. Polar hyper-cross-linked resin with abundant micropores/mesopores and its enhanced adsorption towards salicylic acid: Equilibrium, kinetics, and dynamic operation // Fluid Phase Equilib. 2017. V. 438. P. 1-9.
  64. Methylamino-group-modified hypercrosslinked polystyrene resin for the removal of phenol from aqueous solution / C. He [et al.] // J. Appl. Polym. Sci. 2011. V. 119, № 3. P. 1435-1442.
  65. Otero M., Zabkova M., Rodrigues A.E. Comparative study of the adsorption of phenol and salicylic acid from aqueous solution onto nonionic polymeric resins // Sep. Purif. Technol. 2005. V. 45, № 2. P. 86-95.
  66. Urbienė S., Leskauskaitė D. Formation of some organic acids during fermentation of milk // Pol. J. Food Nutr. Sci. 2006. V. 15, № 56. P. 277-281.
  67. Simultaneous gas chromatography analysis of preservatives in Chinese traditional meat products collected from Ilan County / L.Y. Lo [et al.] // J. Food Drug Anal. 2001. V. 4, № 9. P. 215-219.
  68. Kathirarahchi U.L., Senevirathne D. Mahanama K.R. Analysis of benzoic acid and sorbic acid in some selected food items available in Sri Lanka // Conference on Animal Research Symposium, Colombo, 2012. P. 294-296.



69. ГОСТ Р 53193-2008. Напитки алкогольные и безалкогольные. Определение кофеина, аскорбиновой кислоты и ее солей, консервантов и подсластителей методом капиллярного электрофореза. М., 2010. 11 с.
70. Application of microemulsion electrokinetic chromatography for the detection of preservatives in foods / H.Y. Huang [et al.] // *Food Chem.* 2005. V. 89, № 4. P. 315-322.
71. Determination of sorbate and benzoate in beverage samples by capillary electrophoresis-optimization of the method with inspection of ionic mobilities / A.C.O. Costa [et al.] // *J. Chromatogr. A*. 2008. V. 1204, № 1. P. 123-127.
72. Hsu S.H., Hu C.C., Chiu T.C. Online dynamic pH junction-sweeping for the determination of benzoic and sorbic acids in food products by capillary electrophoresis // *Anal. Bioanal. Chem.* 2014. V. 406, № 2. P. 635-641.
73. Cressey P., Jones S. Levels of preservatives (sulfite, sorbate and benzoate) in New Zealand foods and estimated dietary exposure // *Food Addit. Contam. Part A*. 2009. V. 26, № 5. P. 604-613.
74. Ene C.P., Diacu E. High-performance liquid chromatography method for the determination of benzoic acid in beverages // *UPB Sci. Bull., ser. B*. 2009. V. 71. P. 81-88.
75. Huerta-Gonzalez L., Wilbey R.A. Determination of free fatty acids produced in filled-milk emulsions as a result of the lipolytic activity of lactic acid bacteria // *Food Chem.* 2001. V. 72, № 3. P. 301-307.
76. Effect of high pressure processing on the lipolysis, volatile compounds, odour and colour of cheese made from unpasteurized milk / J. Calzada [et al.] // *Food Bioprocess Tech.* 2015. V. 8, № 5. P. 1076-1088.
77. Determination of benzoic acid and sorbic acid in food products using electrokinetic flow analysis-ion pair solid phase extraction-capillary zone electrophoresis / F. Han [et al.] // *Analytica Chimica Acta*. 2008. V. 618, № 1. P. 79-85.
78. Application of *Agaricus bisporus* extract for benzoate sodium detection based on tyrosinase inhibition for a biosensor development / V.P. Santos [et al.] // *Chem. Eng. Trans.* 2013. V. 32. P. 1831-1836.
79. Absolute quantification for benzoic acid in processed foods using quantitative proton nuclear magnetic resonance spectroscopy / T. Ohtsuki [et al.] // *Talanta*. 2012. V. 99. P. 342-348.
80. Survey of benzoic acid in cheeses: contribution to the estimation of an admissible maximum limit / M. Iammarino [et al.] // *Food Addit. Contam. Part B*. 2011. V. 4. P. 4231-4237.
81. Iammarino M., Taranto A. Development and validation of an ion chromatography method for the simultaneous determination of seven food additives in cheeses // *Journal of Analytical Sciences, Methods and Instrumentation*. 2013. V. 3, № 3a. P. 30-37.
82. Tfouni S., Toledo M.C.F. Determination of benzoic and sorbic acids in Brazilian food // *Food Control*. 2002. V. 13, № 2. P. 117-123.
83. Koyuncu N., Uylaser V. Benzoic acid and sorbic acid levels in some dairy products consumed in Turkey // *Asian J. Chem.* 2009. V. 21. P. 4901-4908.
84. Assessment of benzoic acid levels in milk in China / P. Qi [et al.] // *Food Control*. 2009. V. 20, № 4. P. 414-418.
85. Dzięcioł M., Wodnicka A., Huzar E. Analysis of preservatives content in food // *Proc. ECO pole*. 2010. V. 4, № 1. P. 25-28.
86. Benzoic acid residue in Nepalese fruits and vegetable products / K.P. Rai [et al.] // *J. Food Sci. Technol.* 2010. V. 6. P. 110-113.
87. Influence of bleaching on flavor of 34% whey protein concentrate and residual benzoic acid concentration in dried whey proteins / M. Listiyani [et al.] // *J. Dairy Sci.* 2011. V. 94. № 9. P. 4347-4359.
88. Gul. O., Dervisoglu M. Investigation of sodium benzoate and potassium sorbate content and evaluation of microbiological parameters of fresh Kashar cheeses / *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.* 2013. V. 33, № 4. P. 549-554.
89. Simultaneous determination of sorbic and benzoic acids in commercial juices using the PLS-2 multivariate calibration method and validation by high performance liquid chromatography / V.A. Lozano [et al.] // *Talanta*. 2007. V. 73, № 5. P. 282-286.
90. Чернова Р.К., Селифонова Е.И. Одновременное электрофоретическое определение кофеина, консервантов и подсластителей в напитках // *Изв. Саратов. ун-та. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2014. Т. 14, № 4. С. 47-55.
91. Lino C.M., Pena, A. Occurrence of caffeine, saccharin, benzoic acid and sorbic acid in soft drinks and nectars in Portugal and subsequent exposure assessment // *Food Chem.* 2010. V. 121, № 2. P. 503-508.
92. Risk assessment of additives through soft drinks and nectars consumption on Portuguese population: a 2010 survey / J.S. Diogo [et al.] // *Food Chem. Toxicol.* 2013. V. 62. P. 548-556.
93. Study on the performance of the headspace liquid-phase microextraction, gas chromatography-mass spectrometry in the determination of sorbic and benzoic acids in soft drinks and environmental water samples. / H. Farahani [et al.] // *J. Agric. Food Chem.* 2009. V. 57, № 7. P. 2633-2639.
94. Multi-detection of preservatives in cheeses by liquid chromatography-tandem mass spectrometry / F. Fuselli [et al.] // *J. Chromatogr. B*. 2012. V. 906. P. 9-18.
95. Estimate of intake of benzoic acid in the Belgian adult population / S. Vandevijvere [et al.] // *Food Addit. Contam. Part A*. 2009. V. 26, № 7. P. 958-968.
96. Production of benzoic acid by lactic acid bacteria from *Lactobacillus*, *Lactococcus* and *Streptococcus* genera in milk / G. Garmiene [et al.] // *Milchwissenschaft*. 2010. V. 65, № 3. P. 295-298.
97. Changing benzoic acid content in cheese during its manufacture / G. Garmiene [et al.] // *Milchwissenschaft*. 2011. V. 66, № 4. P. 378-381.
98. Development of an RP-HPLC method for the simultaneous determination of benzoic acid, sorbic acid, natamycin and lysozyme in hard and pasta filata cheeses / C. Guarino [et al.] // *Food Chem.* 2011. V. 127, № 3. P. 1294-1299.
99. Trandafir I., Nour V., Ionica E. Development and validation of an HPLC method for simultaneous quantification of acesulfame-K, saccharin, aspartame, caffeine and benzoic acid in cola soft drinks // *Sci. Stud. Res.* 2009. V. 10. P. 185-194.
100. Violeta N., Trandafir I., Ionică M.E. Development and evaluation of an HPLC-DAD method for determination of benzoic acid in tomato sauce and ketchup // *Bulletin of the University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca Agriculture*. 2007. V. 63. P. 510-515.
101. Mischek D., Krapfenbauer-Cermak C. Exposure assessment of food preservatives (sulphites, benzoic and sorbic acid) in Austria // *Food Addit. Contam. Part A*. 2012. V. 29, № 3. P. 371-382.
102. Assessment of benzoic acid, and benzene in "Pimenta-Da-Terra" red hot pepper (*Capsicum* sp.) processed traditionally / M. Kongo [et al.] // *J. Nutr. Food Sci.* 2013. V. 3. P. 1-3.
103. El-Ziney M. GC-MS analysis of benzoate and sorbate in Saudi dairy and food products with estimation of daily exposure // *J. Food Technol.* 2009. V. 7, № 4. P. 127-134.
104. Sen I., Shandil A., Shrivastava V.S. Determination of benzoic acid residue from fruit juice by gas chromatography

- with mass spectrometry detection technique // *Arch. Appl. Sci.* 2011. V. 3. P. 2245-2252.
105. Mohammadzadeh R., Bazi R. Application of mean centering spectra spectrophotometric method for simultaneous determination of salicylic acid and benzoic acid in fruit juice samples. *Russian agricultural sciences*. 2015. V.41, №1. P. 66-70.
  106. Benzoate and synthetic color risk assessment of fast food sauces served at street food joints of Lucknow, India / S. Dixit [et al.] // *Am. J. Food Technol.* 2008. V. 3, № 3. P. 183-191.
  107. Cakir R., Cagri-Mehmetoglu A. Sorbic and benzoic acid in non-preserved-added food products in Turkey // *Food Addit. Contam. Part B*. 2013. V. 6, № 1. P. 47-54.
  108. Sorbate and benzoate in Turkish retail foodstuffs / P. Ulca [et al.] // *Food Addit. Contam. Part B*. 2013. V. 6. P. 209-213.
  109. Optimisation of extraction procedures for analysis of benzoic and sorbic acids in foodstuffs / F.J.M. Mota [et al.] // *Food Chemistry*. 2003. V. 82, № 3. P. 469-473.
  110. High-Performance Liquid Chromatography Analysis and Assessment of Benzoic Acid in Yogurt, Ayran, and Cheese in Turkey / A. Yildiz [et al.] // *Food Analytical Methods*. 2012. V. 5, № 3. P. 591-595.
  111. Design of a composite amperometric enzyme electrode for the control of the benzoic acid content in food / M.D. Morales [et al.] // *Talanta*. 2002. V. 57, № 6. P. 1189-1198.
  112. Lazarević K., Stojanović D., Rančić N. Estimated daily intake of benzoic acid through food additives in adult population of south east Serbia // *Cent. Eur. J. Public Health*. 2011. V. 19. P. 228-231.
  113. Kokya T.A., Farhadi T.A., Kalhori A.A. Optimized dispersive liquid-liquid microextraction and determination of sorbic acid and benzoic acid in beverage samples by Gas Chromatography // *Food Analytical. Methods*. 2012. V.5, № 3. P. 351-358.
  114. Leth T., Christensen T., Larsen I.K. Estimated intake of benzoic and sorbic acids in Denmark // *Food Addit. Contam. Part A*. 2010. V. 27, № 6. P. 783-792.
  115. Simultaneous determination of electroactive food preservatives by novel capillary electrophoresis with amperometric detection / W. Wang [et al.] // *Anal. Chim. Acta*. 2010. V. 678. P. 1139-1143.
  116. Techakriengkrai I., Surakarnkul R. Analysis of benzoic acid and sorbic acid in Thai rice wines and distillates by solid-phase sorbent extraction and high-performance liquid chromatography // *J. Food Comp. Anal.* 2007. V. 20, № 3-4. P. 220-225.
  117. [Электронный ресурс]: <http://galachem.ru/katalog/macherey-nagel/olonki-i-sorbenty-dlya-vezhkh/> (дата обращения 20.04.2018).
  118. Dong C., Wang W. Headspace solid-phase microextraction applied to the simultaneous determination of sorbic and benzoic acids in beverages // *Analytica Chimica Acta*. 2006. V. 562, № 1. P. 23-29.
  119. Determination of organic compounds in water using dispersive liquid-liquid microextraction / M. Rezaee [et al.] // *J. Chromatogr A*. 2006. V. 1116. P. 1-9.
  120. Simultaneous determination of sorbic and benzoic acids in milk products using an optimised microextraction technique followed by gas chromatography / A.S. Abedi [et al.] // *Food Addit. Contam. Part A*. 2014. V. 31, № 1. P. 21-28.
  121. Dispersive liquid-liquid microextraction followed by high-performance liquid chromatography for determination of benzoate and sorbate in yogurt drinks and method optimization by central composite design / M. Kamankesh [et al.] // *Talanta*. 2013. V. 109. P. 46-51.
  122. Система капиллярного электрофореза. Определение кофеина, аскорбиновой, сорбиновой и бензойной кислоты в безалкогольных и алкогольных напитках [Электронный ресурс]: <http://techob.ru/assets/files/opred-kofeina-askorbin-sorbinovoi-benzoinoi-kislot-v-napitkah.pdf> (дата обращения 10.09.2017).
  123. Can N.O., Arli G., Lafci Y. A novel RP-HPLC method for simultaneous determination of potassium sorbate and sodium benzoate in soft drinks using C18-bonded monolithic silica column // *Journal of Separation Science*. 2011. V. 34, № 16-17. P. 2214-2222.
  124. Urcovan M.M., Diacu E., Petronela E.C. Quantification of the analytical parameters and uncertainty budget for traceable measurements of benzoic acid in soft drinks by HPLC method // *UPB, Scientific Bulletin Series B*. 2012. V. 74, № 1. P. 97-108.
  125. Сальникова Д.В., Селифонова Е.К., Чернова Р.К. Электрофоретическое определение консервантов в энергетических напитках // *Символ науки*. 2016. № 3. С. 46-49.
  126. CFS-HK (Centre for Food Safety of the Food and Environmental Hygiene Department of the Government of the Hong Kong Special Administrative Region). Dietary exposure to benzoic acid from prepackaged non-alcoholic beverages of secondary school students. Risk assessment studies report // *CFS-HK: Hong Kong*, 2007. P. 1-13.
  127. Simultaneous determination of Benzoic Acid and Sorbic Acid in food products by CE after on-line preconcentration by dynamic pH junction / X. Zhang [et al.] // *Chromatographia*. 2011. V. 73, № 11-12. P. 1217-1221.
  128. Nour V., Trandafir I., Ionica M.E. Simultaneous determination of sorbic and benzoic acids in tomato sauce and ketchup using high-performance liquid chromatography // *Annals Food Science and Technology*. 2009. V. 10, № 1. P. 157-162.
  129. Analysis of nine food additives in red wine by ion-suppression reversed-phase high-performance liquid chromatography using trifluoroacetic acid and ammonium acetate as ion-suppressors / Y.G. Zhao [et al.] // *Analytical Sciences*. 2012. V. 28. P. 967-971.
  130. Yang J., Li D., Sun C. Simultaneous determination of eleven preservatives in foods using ultrasound-assisted emulsification micro-extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry // *Analytical Methods*. 2012. V. 4, № 10. P. 3436-3442.
  131. Simultaneous determination of preservatives (benzoic acid, sorbic acid, methylparaben and propylparaben) in foodstuffs using high-performance liquid chromatography / Md. Bahruddin Saad [et al.] // *Journal of Chromatography A*. 2005. V. 1073, № 1-2. P. 393-397.
  132. Wang Z.J., Song Z.H. Chemiluminescence determination of benzoic acid using a solid-phase verdigris reactor // *Chin. Chem. Lett.* 2003. V.14, № 3. P.283-286.
  133. Беляева Л.Ю., Прохорова А.Ф., Беклемишев М.К. Определение бензоат-иона методом бумажной хроматографии с детектированием по ингибирующему действию в реакции фотосенсибилизированного автоокисления пирогаллола А // *Журн. аналит. химии*. 2010. Т.65, № 1. С. 66-72.
  134. Бельтюкова С.В. Консерванты в пищевой технологии // *Пищевая наука и технология*. 2013. Т. 24, № 3. С. 58-64.
  135. Pylypiw H.M., Grether M.T. Rapid high-performance liquid chromatography method for the analysis of sodium benzoate and potassium sorbate in foods // *Journal of Chromatography A*. 2000. V. 883, № 1-2. P. 299-304.
  136. Dietary intake of sorbic and benzoic acids from tomato ketchup for adults and children in Turkey / O. Golge [et al.] // *Lebensm.* 2015. V. 10, № 4. P. 341-347.
  137. Zhang H., Cheng M., Jiang X. Determination of Benzoic Acid in Water Samples by Ionic Liquid Cold-Induced Aggre-

- gation Dispersive LLME Coupling with LC // *Chroma*. 2010. V. 72, № 11-12. P. 1195-1199.
138. Abdelrahman M.M. Micellar liquid chromatographic determination of salbutamol sulfate in presence of methyl paraben, propyl paraben and benzoic acid: application to content uniformity testing // *J. Iran. Chem. Soc.* 2015. V. 12, № 8. P. 1439-1446.
139. Production of Polyclonal Antibody and Development of a Competitive Enzyme-Linked Immunosorbent Assay for Benzoic Acid in Foods / L. Luo [et al.] // *Food Analyt. Method.* 2015. V. 8, № 5. P. 1101-1111.
140. Park S.Y., Young M., Yoo H.D. Paik Production of benzoic acid as a natural compound in fermented skim milk using commercial cheese starter // *J. Dairy Sci.* 2017. V. 100, № 6. P. 1-7.
141. Short communication: Change of naturally occurring benzoic acid during skim milk fermentation by commercial cheese starters / H. Noori [et al.] // *J. Dairy Sci.* 2016. V. 99, № 11. P. 8633-8637.
142. Excess of dietary benzoic acid supplementation leads to growth retardation, hematological abnormality and organ injury of piglets / Y. Shu [et al.] // *Livestock Science*. 2016. V. 190. P. 94-103.
143. Pamel V., Daeseleire E. A multiresidue liquid chromatographic/tandem mass spectrometric method for the detection and quantitation of 15 nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) in bovine meat and milk // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2015. V. 407, № 15. P. 4485-4494.
144. A hyperbranched polyethylenimine functionalized stationary phase for hydrophilic interaction liquid chromatography / Y. Peng [et al.] // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2016. V. 408, № 13. P. 3633-3638.
145. Sequential Injection Chromatography as Alternative Procedure for the Determination of Some Food Preservatives / W. Jangbai [et al.] // *Food Analytical Methods*. 2012. V. 5, № 4. P. 631-636.
146. Determination of Small Phenolic Compounds in Tequila by Liquid Chromatography with Ion Trap Mass Spectrometry Detection / A.A. Magana [et al.] // *Food Analytical Methods*. 2015. V. 8, № 4. P. 864-872.
147. A simple and robust protocol for fast RP-HPLC determination of salicylates in foods / M. Szkop [et al.] // *Food Analytical Methods*. 2017. V. 10, № 3. P. 618-625.
148. Tyrosinase immobilized magnetic nanobeads for the amperometric assay of enzyme inhibitors: Application to the skin whitening agents / V.H. Sima [et al.] // *Talanta*. 2011. V. 83, № 3. P. 980-987.
149. Inhibition of benzoic acid on the polyaniline–polyphenol oxidase biosensor / Li S.L. [et al.] // *Sens. Actuators B*. 2010. V. 144, № 1. P. 18-22.
150. Martín C., Domínguez E. A new enzyme electrode for quantification of salicylic acid in a FIA system // *J. Pharm. Biomed. Anal.* 1999. V. 19, № 1-2. P. 107-113.
151. Guerrieri A., Cataldi T.R.I., Ciriello R. The kinetic and analytical behaviours of an L-lysine amperometric biosensor based on lysine oxidase immobilised onto a platinum electrode by co-crosslinking / *Sens. Actuators B*. 2007. V. 126, № 2. P. 424-430.
152. DNA immobilization on a polypyrrole nanofiber modified electrode and its interaction with salicylic acid/aspirin / Yousef Elahi M. [et al.] // *Anal. Biochem.* 2011. V. 411, № 4. P. 176-184.
153. Zhu Y., Guan X., Ji H.J. Electrochemical solid phase microextraction and determination of salicylic acid from blood samples by cyclic voltammetry and differential pulse voltammetry // *J. Solid State Electrochem.* 2009. V. 13, № 9. P. 1417-1423.
154. Doulache M., Benchettara A., Trari M. Detection of salicylic acid by electrocatalytic oxidation at a nickel-modified glassy carbon electrode // *J. of Anal. Chem.* 2014. V. 69, № 1. P. 51-56.
155. Electrochemical oxidation of salicylic acid at well-aligned multiwalled carbon nanotube electrode and its detection / W.D. Zhang [et al.] // *J. Solid State Electrochem.* 2010. V. 14, № 9. P. 713-718.
156. Electrocatalytic activity of salicylic acid on the platinum nanoparticles modified electrode by electrochemical deposition / Z. Wang [et al.] // *Colloids. Surf. B*. 2010. V. 76, № 5. P. 370-375.
157. Electrocatalytic oxidation of phytohormone salicylic acid at copper nanoparticles-modified gold electrode and its detection in oilseed rape infected with fungal pathogen *Sclerotinia sclerotiorum* / Z. Wang [et al.] // *Talanta*. 2010. V. 80, № 3. P. 1277-1281.
158. Electrocatalytic oxidation of salicylic acid by a cobalt hydroxide-like compound modified Pt electrode / I. Gualandi [et al.] // *Biosens. Bioelectron.* 2011. V. 26, № 7. P. 3200-3206.
159. Selective electrochemical determination of salicylic acid in wheat using molecular imprinted polymers / L. Ya [et al.] // *Analytical Letters*. 2017. V. 50, № 15. P. 2369-2385.
160. Controlled electrochemical synthesis of new rare earth metal lutetium hexacyanoferrate on reduced graphene oxide and its application as a salicylic acid sensor / D. Balamurugan [et al.] // *J. Mater. Chem. B*. 2014. V. 2, № 43. P. 7515-7523.
161. Cofan C., Radovan C. Anodic determination of acetylsalicylic acid at a mildly oxidized boron-doped diamond electrode in sodium sulphate medium // *International Journal of Electrochemistry*. 2011. V. 2011. P. 1-9.
162. Determination of acetylsalicylic acid in pharmaceutical formulations using a boron-doped diamond electrode without the need of previous alkaline hydrolysis step / E.R. Sartori [et al.] // *J. Braz. Chem. Soc.* 2009. V. 20, № 2. P. 360-366.
163. Electrochemical Determination of Salicylic Acid at a New Biosensor Based on Polypyrrole-Banana Tissue Composite / M. Hossein [et al.] // *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2013. V. 38, № 1. P. 29-36.
164. Voltammetric determination of salicylic acid in pharmaceutical formulations of acetylsalicylic acid / A.A.J. Torriero [et al.] // *Talanta*. 2004. V. 62, № 2. P. 247-254.
165. Recent advances in enhancing the sensitivity of electrophoresis and electrochromatography in capillaries and microchips (2014-2016) / M.C. Breadmore [et al.] // *Journal Electrophoresis*. 2017. V. 38, № 1. P. 33-59.
166. Recent advances in the application of capillary electromigration methods for food analysis and Foodomics / T. Acunha [et al.] // *Journal Electrophoresis*. 2016. V. 37, № 1. P. 111-141.

## REFERENCES

1. Trebovaniia bezopasnosti pishchevykh dobavok, aromatizatorov i tekhnologicheskikh vspomogatel'nykh sredstv: tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soiuza [Safety requirements for food additives, flavors and technological aids: technical regulations of the Customs Union] TR TS 029/2012 of 20.07. 2012, No. 58 (in Russian).
2. Pevny I., Rauscher E., Lechner W., Metz J. Excessive allergy due to benzoic acid followed by anaphylactic shock. *Derm. Beruf. Umwelt.*, 1981, vol. 29, no. 5, pp. 123-130.
3. Buldakov A.S. *Pishchevye dobavki: spravochnik* [Food additives: Reference Book]. Moscow, DeLi print, 2003. 436 p. (in Russian).

4. Walker M.J., Burns D.T., Elliott C.T., Gowland M.H., Clare Mills. E.N. Is food allergen analysis flawed? Health and supply chain risks and a proposed framework to address urgent analytical needs. *Analyst.*, 2016, vol. 141, no. 1. pp. 24-35. doi: 10.1039/c5an01457c.
5. Webb S., Ternes T., Gibert M., Olejniczak K. Indirect human exposure to pharmaceuticals via drinking water. *Toxicol. Lett.*, 2003, vol. 142, no. 3, pp. 157-167. doi: 10.1016/S0378-4274(03)00071-7.
6. Aguilar F., Crebelli R., Di Domenico A., Dusemund B., Jose Frutos M., Galtier P., Gott D., Gundert-Remy U., Lambré C., Leblanc J.C., Lindtner O., Moldeus P., Mortensen A., Mosesso P., Parent-Massin D., Oskarsson A., Stankovic I., Waalkens-Berendsen I., Antonius Woutersen R., Wright M., Younes M. Reevaluation of benzoic acid (E 210), sodium benzoate (E 211), potassium benzoate (E 212) and calcium benzoate (E 213) as food additives. *EFSA Journal*, 2016, vol. 14, no. 3, pp. 4433 - 4543.
7. SCF (Scientific Committee on Food). *Opinion of the Scientific Committee on Food on Benzoic acid and its salts.* (2002). Available at: [https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/sci-com\\_scf\\_out137\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/sci-com_scf_out137_en.pdf). (accessed 15 September 2017).
8. Nettis E., Colanardi M.C., Ferrannini A., Tursi A. Sodium benzoate-induced repeated episodes of acute urticaria/angio-oedema: randomized controlled trial. *Br. J. Dermatol.*, 2004, vol. 151, no. 4, pp. 898-902.
9. Griffiths J. WHO model prescribing information-drugs used in skin diseases. *Clin. Exp. Dermatol.*, 1999, vol. 24, no. 1, pp. 1365-2230. doi: 10.1046/j.1365-2230.1999.00001.x
10. Fent K., Weston A.A., Caminada D. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquat. Toxicol.*, 2006, vol. 76, no. 2, pp. 122-159. doi: 10.1016/j.aquatox.2005.09.009.
11. Tremblay G.C., Qureshi I.A. The biochemistry and toxicology of benzoic acid metabolism and its relationship to the elimination of waste nitrogen. *Pharmacol. Ther.*, 1993, vol. 60, no. 1, pp. 63-90. doi: 10.1016/0163-7258(93)90022-6.
12. Wallace L.A., Pellizzari E., Hartwell T., Rosenzweig M., Erickson M., Sparacino C., Zelton H. Personal exposure to volatile organic compounds. Direct measurements in breathing-zone air, drinking water, food, and exhaled breath. *Environ. Res.*, 1984, vol. 35, pp. 293-319. doi:10.1016/0013-9351(84)90137-3.
13. Caliman F.A., Gavrilescu M. Pharmaceuticals, personal care products and endocrine disrupting agents in the environment (A review). *Clean - Soil, Air, Water.*, 2009, vol. 37, no. 4-5, pp. 277-303. doi: 10.1002/clen.200900038.
14. Assmann N., Emmrich M., Kampf G., Kaiser M. Genotoxic activity of important nitrobenzenes and nitroanilines in the Ames test and their structure-activity relationship. *Mutat. Res., Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.*, 1997, vol. 395, no. 2-3, pp. 139-144. doi: 10.1016/S1383-5718(97)00158-7.
15. Amelin V.G., Lavrukina O.I. Food safety assurance using methods of chemical analysis. *J. Anal. Chem.*, 2017, vol. 72, no. 1, pp. 1-46. doi: 10.1134/S1061934817010038 (in Russian).
16. Yakuba Y.F., Kaunova A.A., Temerdashev Z.A., Titarenko V.O., Khalaphyan A.A. [Grape wines, problems of their quality and regional origin evaluation]. *Analitika i kontrol* [Analytics and Control]. 2014., vol. 18., no. 4., pp. 344-372. doi: 10.15826/analitika.2014.18.4.001 (in Russian).
17. Park Y., Ayoko G.A., Frost R.L. Application of organo-clays for the adsorption of recalcitrant organic molecules from aqueous media. *J. Colloid Interface Sci.*, 2011, vol. 354, no. 1, pp. 292-305. doi:10.1016/j.jcis.2010.09.068.
18. Carmody O., Frost R., Xi Y., Kokot S. Adsorption of hydrocarbons on organo-clays - implication for oil spill remediation. *J. Colloid Interface Sci.*, 2007, vol. 305, no. 1, pp. 17-24. doi: 10.1016/j.jcis.2006.09.032.
19. Park Y., Ayoko G.A., Horváth E., Kurdi R., Kristof J., Frost R. Structural characterisation and environmental application of organoclays for the removal of phenolic compounds. *J. Colloid Interface Sci.*, 2013, vol. 393, no. 1, pp. 319-334. doi: 10.1016/j.jcis.2012.10.067.
20. Yan L., Wang J., Yu H., Wei Q., Du B., Shan X. Adsorption of benzoic acid by CTAB exchanged montmorillonite. *Applied Clay Science*, 2007, vol. 37, no. 3-4, pp. 226-230. doi: 10.1016/j.clay.2006.12.014.
21. Tretyakova V.D., Bakhov F.N., Demidenok K.V. [Increase of characteristics of composite materials on the basis of polyamide by modification of montmorillonite with nanoparticles]. *Naukovedenie*, 2011, vol. 4. Available at: <http://naukovedenie.ru/sbornik9/9-2.pdf> (Accessed 15 June 2017) (in Russian).
22. Yıldız N., Gönülşen R., Koyuncu H., Calimli A. Adsorption of benzoic acid and hydroquinone by organically modified bentonites. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2005, vol. 260, no. 1-3, pp. 87-94. doi: 10.1016/j.colsurfa.2005.03.006.
23. Xin X., Yang J., Feng R., Zhao J., Chen G., Wei Q., Du B. Preparation, characterization and adsorption performance of cetyl pyridine bromide modified bentonites. *J. Inorg. Organomet. Polym.* 2012, vol. 22, no. 1, pp. 42-47. doi: 10.1007/s10904-011-9615-2.
24. Chefetz B., Eldad S., Polubesova T. Interactions of aromatic acids with montmorillonite: Ca<sup>2+</sup>- and Fe<sup>3+</sup>-saturated clays versus Fe<sup>3+</sup>-Ca<sup>2+</sup>-clay system. *Geoderma*, 2011, vol. 160, no. 3-4, pp. 608-613. doi: 10.1016/j.geoderma.2010.11.010.
25. Rakić V., Rajić N., Daković A., Auroux A. The adsorption of salicylic acid, acetylsalicylic acid and atenolol from aqueous solutions onto natural zeolites and clays: Clinoptilolite, bentonite and kaolin. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2013, vol. 166, pp. 185-194. doi: 10.1016/j.micromeso.2012.04.049.
26. Tang J., Yang Z.F., Yi Y.J. Enhanced adsorption of methylenorange by vermiculite modified by cetyltrimethylammonium bromide (CTMAB). *Procedia Environ. Sci.*, 2012, vol. 13, pp. 2179-2187. doi: 10.1016/j.proenv.2012.01.207.
27. Simpson J.A., Bowman R.S. Nonequilibrium sorption and transport of volatile petroleum hydrocarbons in surfactant-modified zeolite. *J. Contam. Hydrol.*, 2009, vol. 180, no. 1-2, pp. 1-11. doi: 10.1016/j.jconhyd.2009.05.001.
28. Medeiros M.A., Sansiviero M.T.C., Araújo M.H., Lago R.M. Modification of vermiculite by polymerization and carbonization of glycerol to produce highly efficient materials for oil removal. *Appl. Clay Sci.*, 2009, vol. 45, no. 4, pp. 213-219. doi: 10.1016/j.clay.2009.06.008.
29. Pouya E.S., Abolghasemi H., Fatoorehchi H., Rasem B., Hashemi S.J. Effect of dispersed hydrophilic silicon dioxide nanoparticles on batch adsorption of benzoic acid from aqueous solution using modified natural vermiculite: An equilibrium study. *Journal of Applied Research and Technology*, 2016, vol. 14, no. 5, pp. 325-337. doi: 10.1016/j.jart.2016.08.005
30. Pouya E.S., Abolghasemi H., Assar M., Hashemi S.J., Salehpour A., Foroughi-dahr M. Theoretical and experimental studies of benzoic acid batch adsorption dynamics using vermiculite-based adsorbent. *Chem. Eng. Res. Des.*, 2015, vol. 93, pp. 800-811. doi: 10.1016/j.cherd.2014.07.016.
31. Xin X., Si W., Yao Z., Feng R., Du B., Yan L., Wei Q. Adsorption of benzoic acid from aqueous solution by three kinds of modified bentonites. *J. Colloid Interface Sci.*, 2011, vol. 359, no. 2, pp. 499-504. doi: 10.1016/j.jcis.2011.04.044.

32. Pouya E.S., Abolghasemi H., Esmaili M., Fatoorehchi H., Hashemi J.S., Salehpour A. Batch adsorptive removal of benzoic acid from aqueous solution onto modified natural vermiculite: Kinetic, isotherm and thermodynamic studies. *J. Industrial and Engineering Chemistry*, 2015, vol. 31, pp. 199-215. doi: 10.1016/j.jiec.2015.06.024.
33. Ayranci E., Duman O. Adsorption of aromatic organic acids onto high area activated carbon cloth in relation to wastewater purification. *J. Hazard. Mater.*, 2006, vol. 136, no. 3, pp. 542-552. doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.12.029.
34. Chern J.M., Chien Y.W. Adsorption isotherms of benzoic acid onto activated carbon and breakthrough curves in fixed-bed columns. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2001, vol. 40, no. 17, pp. 3775-3780. doi: 10.1021/ie010175x.
35. Yenkie M.K.N., Natarajan G.S. Adsorption equilibrium studies of some aqueous aromatic pollutants on granular activated carbon samples. *Sep. Sci. Technol.*, 1991, vol. 26, no. 5, pp. 661-674. doi: 10.1080/01496399108049907.
36. Haghsereht F., Nouri S., Lu G.Q. Effects of the solute ionization on the adsorption of aromatic compounds from dilute aqueous solutions by activated carbon. *Langmuir*, 2002, vol. 18, no. 5, pp. 1574-1579. doi: 10.1021/la010903l.
37. Otero M., Grande C.A., Rodrigues A.E. Adsorption of salicylic acid onto polymeric adsorbents and activated charcoal. *React. Funct. Polym.*, 2004, vol. 60, pp. 203-213. doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2004.02.024.
38. Pittman C.U., Mohan D., Eseyin A., Li Q., Ingram L., Hassan E.M., Mitchell B., Guo H., Steele P.H. Characterization of bio-oils produced from fast pyrolysis of corn stalks in an auger reactor. *Energy Fuels*, 2012, vol. 26, no. 6, pp. 3816-3825. doi: 10.1021/ef3003922.
39. Mohan D., Sarswat A., Ok Y.S., Pittman C.U. Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent (a critical review). *Bioresour. Technol.*, 2014, vol. 160, pp. 191-202. doi: 10.1016/j.biortech.2014.01.120.
40. Mohan D., Rajput S., Singh V.K., Steele P.H., Pittman C.U. Modeling and evaluation of chromium remediation from water using low cost bio-char, a green adsorbent. *J. Hazard. Mater.*, 2011, vol. 188, no. 1-3, pp. 319-333. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.01.127.
41. Essandoh M., Kunwar B., Pittman C.U., Mohan D., Mlsna T. Sorptive removal of salicylic acid and ibuprofen from aqueous solutions using pine wood fast pyrolysis biochar. *Chem. Eng. J.*, 2015, vol. 265, pp. 219-227. doi: 10.1016/j.cej.2014.12.006.
42. Combarros R.G., Rosas I., Lavin A.G., Rendueles M., Diaz M. Influence of biofilm on activated carbon on the adsorption and biodegradation of salicylic acid in wastewater. *Water Air Soil Pollut.*, 2014, vol. 225, pp. 1858-1870. doi: 10.1007/s11270-013-1858-9.
43. Huang J., Wang G., Huang K. Enhanced adsorption of salicylic acid onto a  $\beta$ -naphthol-modified hypercross-linked poly (styrene-co-divinylbenzene) resin from aqueous solution. *Chem. Eng. J.*, 2011, vol. 168, no. 2, pp. 715-721. doi: 10.1016/j.cej.2011.01.065.
44. Liu F., Xia M., Fei Z., Chen J., Li A. Adsorption selectivity of salicylic acid and 5-sulfosalicylic acid onto hypercross-linked polymeric adsorbents. *Front. Environ. Sci. Eng.*, 2007, vol. 1, no. 1, pp. 73-78. doi: 10.1007/s11783-007-0014-4.
45. Karunanayake A.G., Bombuwala Dewage N., Todd O.A., Essandoh M., Anderson R., Mlsna T., Mlsna D. Salicylic acid and 4-nitroaniline removal from water using magnetic biochar: an environmental and analytical experiment for the undergraduate laboratory. *J. Chem. Educ.*, 2016, vol. 93, no. 11, pp. 1935-1938. doi: 10.1021/acs.jchemed.6b00154.
46. Karunanayake A.G., Todd O.A., Crowley M.L., Ricchetti L.B., Pittman C.U., Anderson R., Mlsna T.E. Rapid removal of salicylic acid, 4-nitroaniline, benzoic acid and phthalic acid from wastewater using magnetized fast pyrolysis biochar from waste Douglas fir. *Chem. Eng. J.*, 2017, vol. 319, pp. 75-88. doi: 10.1016/j.cej.2017.02.116.
47. Chai K., Ji H. Dual functional adsorption of benzoic acid from wastewater by biological-based chitosan grafted  $\beta$ -cyclodextrin. *Chem. Eng. J.*, 2012, vol. 203, pp. 309-318. doi: 10.1016/j.cej.2012.07.050.
48. Dai J., Xiao X., Duan S., Liu J., He J., Lei J., Wang L. Synthesis of novel microporous nanocomposites of ZIF-8 on multiwalled carbon nanotubes for adsorptive removing benzoic acid from water. *Chem. Eng. J.*, 2018, vol. 331, pp. 64-74. doi: 10.1016/j.cej.2017.08.090.
49. Kalinkina S.P., Sukhanov P.T., Korenman Y.I. [Extraction-sorption extraction of naphthols from aqueous media using polyurethane foams]. *Khimiia i tekhnologiya vody* [Journal of Water Chemistry and Technology], 2002, vol. 24, no. 3, pp. 257-260 (in Russian).
50. Medvedeva O.M., Myshak E.N., Dmitrienko S.G., Ivanov A.A., Shpigun O.A. [Sorption of aromatic carboxylic acids on polyurethane foams]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2: Khimiia* [Bulletin of Moscow University. Series 2: Chemistry], 2002, vol. 43, no. 1, pp. 25-28 (in Russian).
51. Popov A.Y., Blinnikova Z.K., Tsyurupa M.P., Davankov V.A. [Synthesis and adsorption properties of restricted access sorbents based on hypercrosslinked polystyrene]. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy* [Sorption and chromatographic processes], 2017, vol. 17, no. 2, pp. 183-190 (in Russian).
52. Masque N., Marce R.M., Borrull F. Comparison of different sorbents for on-line solid-phase extraction of pesticides and phenolic compounds from natural water followed by liquid chromatography. *J. Chromatogr. A.*, 1998, vol. 793, no. 2, pp. 257-263. doi: 10.1016/S0021-9673(97)00936-9.
53. Lee J.H., Batterman S.A., Jia C., Chernyak S. Ozone artifacts and carbonyl measurements using Tenax GR, Tenax TA, Carbopack B, and Carbopack X adsorbents. *J. Air Waste Management Association*, 2006, vol. 56, no. 11, pp. 1503-1517. doi: 10.1080/10473289.2006.10464560.
54. Savvina A.G., Sukhanov P.T., Poluzhenkova E.V., Churilina E.V. [Extraction and sorption of benzoic acid from aqueous solutions by polymers based on N-vinylamides]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2015, vol. 1, pp. 154-158. doi: 10.20914/2310-1202-2015-1-154-158 (in Russian).
55. Kushnir A.A., Sukhanov P.T., Savvina A.G., Bondareva L.P., Churilina E.V., Poluzhenkova E.V., Shatalov G.V. Sorption of aromatic acids from aqueous solutions by polymer based on N-vinylpyrrolidone. *Russ. J. Appl. Chem.*, 2016, vol. 89, no. 6, pp. 891-896. doi: 10.1134/S1070427216060070 (in Russian).
56. Churilina E.V., Kushnir A.A., Sukhanov P.T., Shatalov G.V. Adsorption preconcentration of 4-nitrophenol from aqueous solutions using polymers based on cyclic N-vinylamides. *J. Anal. Chem.*, 2015, vol. 70, no. 2, pp. 130-135 (in Russian). doi: 10.1134/S1061934815020021 (in Russian).
57. Kim S.C., Klempner D., Frisch K.S., Radigan W., Frisch H.L. Polyurethane interpenetrating polymer networks. I. Synthesis and morphology of polyurethane-poly (methylmethacrylate) interpenetrating polymer networks. *Macromolecules*, 1976, vol. 9, pp. 258-263. doi: 10.1021/ma60050a016.
58. Tabka M.T., Widmaier J.M., Meyer G.C. In situ sequential polyurethane poly(methyl methacrylate) interpenetrating

- polymer networks: structure and elasticity of polyurethane networks. *Macromolecules*, 1989, vol. 22, no. 4, pp. 1826-1833. doi: 10.1021/ma00194a055.
59. Huang J., Li Y. Hydrophobic-hydrophilic interpenetrating polymer networks (IPNs) composed of hydrophobic polystyrene (PST) and hydrophilic polyacryldiethylenetriamine (PADETA) networks and their high efficient adsorption to salicylic acid. *Fluid Phase Equilibria*, 2016, vol. 427, pp. 384-389. doi: 10.1016/j.fluid.2016.08.005.
  60. Huang J., Yang L., Wang X., Li H., Chen L., Li Y.N. A novel post-cross-linked polystyrene/polyacryl diethylenetriamine (PST<sub>pc</sub>/PADETA) interpenetrating polymer networks (IPNs) and its adsorption towards salicylic acid from aqueous solutions. *Chem. Eng. J.*, 2014., vol. 248, pp. 216-222. doi: 10.1016/j.cej.2014.03.061.
  61. Fu Z., He C., Li H., Chong Y., Limiao C., Jianhan H., You Nian L. A novel hydrophilic-hydrophobic magnetic interpenetrating polymer networks (IPNs) and its adsorption towards salicylic acid from aqueous solution. *Chem. Eng. J.*, 2015, vol. 279, pp. 250-257. doi: 10.1016/j.cej.2015.04.146.
  62. Wang X., Yuan X., Han S., Zha H., Sun X., Huang J., You Nian L. Aniline modified hypercrosslinked polystyrene resins and their adsorption equilibriums, kinetics and dynamics towards salicylic acid from aqueous solutions. *Chem. Eng. J.*, 2013, vol. 233, pp. 124-131. doi: 10.1016/j.cej.2013.08.039.
  63. Fu. Z., Huang J. Polar hyper-cross-linked resin with abundant micropores/mesopores and its enhanced adsorption toward salicylic acid: Equilibrium, kinetics, and dynamic operation. *Fluid Phase Equilibria*, 2017, vol. 438, pp. 1-9. doi: 10.1016/j.fluid.2017.01.025.
  64. He C., Huang J., Liu J., Deng L., Huang K. Methylamino-group-modified hypercrosslinked polystyrene resin for the removal of phenol from aqueous solution. *J. Appl. Polym. Sci.*, 2011, vol. 119, no. 3, pp. 1435-1442. doi: 10.1002/app.32627.
  65. Otero M., Zabkova M., Rodrigues A.E. Comparative study of the adsorption of phenol and salicylic acid from aqueous solution onto nonionic polymeric resins. *Sep. Purif. Technol.*, 2005, vol. 45, no. 2, pp. 86-95. doi: 10.1016/j.seppur.2005.02.011.
  66. Urbienė S., Leskauskaitė D. Formation of some organic acids during fermentation of milk. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2006, vol. 15, no. 56, pp. 277-281.
  67. Lo L.Y., Wu C.C., Jang S.J., Chiou S.T., Hwang D.F. Simultaneous gas chromatography analysis of preservatives in Chinese traditional meat products collected from Ilan County. *J. Food Drug Anal.*, 2001, vol. 4, no. 9, pp. 215-219.
  68. Kathirarahchi U.L., Senevirathne D., Mahanama K. R. R. Analysis of benzoic acid and sorbic acid in some selected food items available in Sri Lanka. *Conference on Animal Research Symposium*. Colombo, 2012, pp. 294-296.
  69. GOST 53193-2008. *Napitki alkogol'nye i bezalkogol'nye. Opredelenie kofeina, askorbinovoi kisloty i ee solei, konservantov i podslastitelei metodom kapillarnogo elektroforeza* [State Standard 53193-2008. Alcoholic and non-alcoholic beverages. Determination of caffeine, ascorbic acid and its salts, preservatives and sweeteners by the method of capillary electrophoresis]. Moscow, 2010. 11 p (in Russian).
  70. Huang H.Y., Chuang C.L., Chiu C.W., Yeh J.M. Application of microemulsion electrokinetic chromatography for the detection of preservatives in foods. *Food Chem.*, 2005, vol. 89, no. 4, pp. 315-322. doi: 10.1016/j.foodchem.2004.03.022.
  71. Costa A.C.O., da Silva Perfeito L., Tavares M.F.M., Micke G.A. Determination of sorbate and benzoate in beverage samples by capillary electrophoresis-optimization of the method with inspection of ionic mobilities. *J. Chromatogr. A*, 2008, vol. 1204, no. 1, pp. 123-127. doi: 10.1016/j.chroma.2008.07.075.
  72. Hsu S.H., Hu C.C., Chiu, T.C. Online dynamic pH junction-sweeping for the determination of benzoic and sorbic acids in food products by capillary electrophoresis. *Anal. Bioanal. Chem.*, vol. 406, no. 2, pp. 635-641. doi: 10.1007/s00216-013-7481-1.
  73. Cressey P., Jones S. Levels of preservatives (sulfite, sorbate and benzoate) in New Zealand foods and estimated dietary exposure. *Food Addit. Contam. Part A*, 2009, vol. 26, no. 5, pp. 604-613. doi: 10.1080/02652030802669188.
  74. Ene C.P., Diacu E. High-performance liquid chromatography method for the determination of benzoic acid in beverages. *UPB Sci. Bull., ser. B.*, 2009, vol. 71, pp. 81-88.
  75. Huerta-Gonzalez L., Wilbey R.A. Determination of free fatty acids produced in filled-milk emulsions as a result of the lipolytic activity of lactic acid bacteria. *Food Chem.*, 2001, vol. 72, no. 3, pp. 301-307. doi: 10.1016/S0308-8146(00)00230-2.
  76. Calzada J., del Olmo A., Picón A., Nuñez M. Effect of high pressure processing on the lipolysis, volatile compounds, odour and colour of cheese made from unpasteurized milk. *Food Bioprocess Tech.*, 2015, vol. 8, no. 5, pp. 1076-1088. doi: 10.1007/s11947-015-1473-4.
  77. Han F., Yz H., Li L., Fu G.N., Xie H.Y., Gan W.E. Determination of benzoic acid and sorbic acid in food products using electrokinetic flow analysis-ion pair solid phase extraction-capillary zone electrophoresis. *Analytica Chimica Acta.*, 2008, vol. 618, no. 1, pp. 79-85. doi: 10.1016/j.aca.2008.04.041.
  78. Santos V.P., Silva L.M.C., Salgado A.M., Pereira K.S. Application of *Agaricus bisporus* extract for benzoate sodium detection based on tyrosinase inhibition for a biosensor development. *Chem. Eng. Trans.*, 2013, vol. 32, pp. 1831-1836.
  79. Ohtsuki T., Sato K., Sugimoto N., Akiyama H., Kawamura Y. Absolute quantification for benzoic acid in processed foods using quantitative proton nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Talanta*, 2012, vol. 99, pp. 342-348. doi: 10.1016/j.talanta.2012.05.062.
  80. Iammarino M., Di Taranto A., Palermo C., Muscarella M. Survey of benzoic acid in cheeses: Contribution to the estimation of an admissible maximum limit. *Food Addit. Contam. Part B*, 2011, vol. 4, no. 4, pp. 4231-4237. doi: 10.1080/19393210.2011.620355.
  81. Iammarino M., Di Taranto A. Development and validation of an ion chromatography method for the simultaneous determination of seven food additives in cheeses. *J. of Analytical Sciences, Methods and Instrumentation*, 2013, vol. 3, no. 3a, pp. 30-37. doi: 10.4236/jasmi.2013.33A005.
  82. Tfouni S., Toledo M.C.F. Determination of benzoic and sorbic acids in Brazilian food. *Food Control.*, 2002, vol. 13, no. 2, pp. 117-123. doi: 10.1016/S0956-7135(01)00084-6.
  83. Koyuncu N., Uylaser V. Benzoic acid and sorbic acid levels in some dairy products consumed in Turkey. *Asian J. Chem.*, 2009, vol. 21, pp. 4901-4908.
  84. Qi P., Hong H., Liang X., Liu D. Assessment of benzoic acid levels in milk in China. *Food Control.*, 2009, vol. 20, no. 4, pp. 414-418. doi: 10.1016/j.foodcont.2008.07.013.
  85. Dzieciol M., Wodnicka A., Huzar, E. Analysis of preservatives content in food. *Proc. ECOpole*, 2010, vol. 4, no. 1, pp. 25-28. Available at: [http://tchie.uni.opole.pl/PECO10\\_1/PECO\\_2010\\_1\\_p1.pdf](http://tchie.uni.opole.pl/PECO10_1/PECO_2010_1_p1.pdf) (Accessed 30 April 2017).
  86. Rai K.P., Shrestha S., Lama J.P., Shrestha B.P. Benzoic acid residue in Nepalese fruits and vegetable products. *J. Food Sci. Technol.*, 2010, vol. 6, pp. 110-113. doi: 10.3126/jfstn.v6i0.8271.
  87. Listiyani M., Campbell R.E., Miracle R.E., Dean L.O., Drake M.A. Influence of bleaching on flavor of 34 % whey

- protein concentrate and residual benzoic acid concentration in dried whey proteins. *J. Dairy Sci.*, 2011, vol. 94, no. 9, pp. 4347-4359. doi: 10.3168/jds.2011-4341.
88. Gul O., Dervisoglu M. Investigation of sodium benzoate and potassium sorbate content and evaluation of microbiological parameters of fresh Kashar cheeses. *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.*, 2013, vol. 33, no. 4, pp. 549-554. doi: 10.5851/kosfa.2013.33.4.549.
89. Lozano V.A., Camiña J.M., Boeris M.S., Marchevsk y E.J. Simultaneous determination of sorbic and benzoic acids in commercial juices using the PLS-2 multivariate calibration method and validation by high performance liquid chromatography. *Talanta*, 2007, vol. 73, no. 2, pp. 282-286. doi: 10.1016/j.talanta.2007.03.041.
90. Chernova R.K., Selifonova Y.I. [Simultaneous electrophoretic determination of caffeine, preservatives and sweeteners in beverages]. *Izv. Sarat. un-ta. Ser. Khimii. Biologii. Ekologii* [Bulletin of Saratov University. New Series. Series: Chemistry. Biology. Ecology], 2014, vol. 14, no. 4, pp. 47-55 (in Russian).
91. Lino C.M., Pena A. Occurrence of caffeine, saccharin, benzoic acid and sorbic acid in soft drinks and nectars in Portugal and subsequent exposure assessment. *Food Chem.*, 2010, vol. 121, no. 2, pp. 503-508. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.12.073.
92. Diogo J.S., Silva L.S., Pena A.O., Lino C.M. Risk assessment of additives through soft drinks and nectars consumption on Portuguese population: A 2010 survey. *Food Chem. Toxicol.*, 2013, vol. 62, pp. 548-556. doi: 10.1016/j.fct.2013.09.006.
93. Farahani H., Ganjali M.R., Dinarvand R., Norouzi P. Study on the performance of the headspace liquid-phase microextraction, gas chromatography-mass spectrometry in the determination of sorbic and benzoic acids in soft drinks and environmental water samples. *J. Agric. Food Chem.*, 2009, vol. 57, no. 7, pp. 2633-2639. doi: 10.1021/jf802981z.
94. Fuselli F., Guarino C., La Mantia A., Longo L., Faberi A., Marianella R.M. Multi-detection of preservatives in cheeses by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *J. Chromatogr. B.*, 2012, vol. 906, pp. 9-18. doi: 10.1016/j.jchromb.2012.07.035.
95. Vandevijvere S., Andjelkovic M., De Wil M., Vinkx C., Van Loco J., Van Oyen H., Goeyens L. Estimate of intake of benzoic acid in the Belgian adult population. *Food Addit. Contam. Part A.*, 2009, vol. 26, no. 7, pp. 958-968. doi: 10.1080/02652030902858939.
96. Garmiene G., Salomskiene J., Jasutiene I., Macioniene I., Miliauskiene I. Production of benzoic acid by lactic acid bacteria from *Lactobacillus*, *Lactococcus* and *Streptococcus* genera in milk. *Milchwissenschaft*, 2010, vol. 65, no. 3, pp. 295-298.
97. Garmiene G., Salomskiene J., Jasutiene I., Macioniene I., Miliauskiene I. Changing benzoic acid content in cheese during its manufacture. *Milchwissenschaft*, 2011, vol. 66, no. 4, pp. 378-381.
98. Guarino C., Fuselli F., La Mantia A., Longo L. Development of an RP-HPLC method for the simultaneous determination of benzoic acid, sorbic acid, natamycin and lysozyme in hard and pasta filata cheeses. *Food Chem.*, 2011, vol. 127, no. 3, pp. 1294-1299. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.01.086.
99. Trandafir I., Nour V., Ionică E. Development and validation of an HPLC method for simultaneous quantification of acesulfame-K, saccharin, aspartame, caffeine and benzoic acid in cola soft drinks. *Sci. Stud.*, 2009, vol. 10, pp. 185-194.
100. Violeta N., Trandafir I., Ionica M.E. Development and evaluation of an HPLC-DAD method for determination of benzoic acid in tomato sauce and ketchup. *Bulletin of the University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca Agriculture*, 2007, vol. 63, pp. 510-515. doi: 10.15835/buasvmcn-agr:1457.
101. Mischek D., Krapfenbauer-Cermak C. Exposure assessment of food preservatives (sulphites, benzoic and sorbic acid) in Austria. *Food Addit. Contam. Part A*, 2012, vol. 29, no. 3, pp. 371-382. doi: 10.1080/19440049.2011.643415.
102. Kongo M., Partidário A., Duthoit I., Moniz C., Ponte D. Assessment of benzoic acid, and benzene in "Pimenta-Da-Terra" red hot pepper (*Capsicum* sp.) processed traditionally. *J. Nutr. Food Sci.*, 2013, vol. 3, pp. 1-3.
103. El-Ziney M. GC-MS analysis of benzoate and sorbate in Saudi dairy and food products with estimation of daily exposure. *J. Food Technol.*, 2009, vol. 7, no. 4, pp.127-134.
104. Sen I., Shandil A., Shrivastava V.S. Determination of benzoic acid residue from fruit juice by gas chromatography with mass spectrometry detection technique]. *Arch. Appl. Sci.*, 2011, vol. 3, pp. 2245-2252.
105. Mohammadzadeh R., Bazi R. [Application of mean centering spectra spectrophotometric method for simultaneous determination of salicylic acid and benzoic acid in fruit juice samples]. *Rossiiskaia Sel'skokhoziaistvennaia Nauka* [Russian agricultural sciences], 2015, vol. 41, no.1, pp. 66-70. doi: 10.3103/S1068367415010164 (in Russian) .
106. Dixit S., Mishra K.K., Khanna S.K., Das M. [Benzoate and synthetic color risk assessment of fast food sauces served at street food joints of Lucknow, India]. *Am. J. Food Technol.*, 2008, vol. 3, no. 3, pp. 183-191. doi:10.3923/ajft.2008.183.191.
107. Cakir R., Cagri-Mehmetoglu A. Sorbic and benzoic acid in non-preservative-added food products in Turkey. *Food Addit. Contam. Part B*, 2013, vol. 6, no. 1, pp. 47-54. doi:10.1080/19393210.2012.722131.
108. Ulca P., Atamer B., Keskin M., Senyuva, H.Z. Sorbate and benzoate in Turkish retail foodstuffs. *Food Addit. Contam. Part B*, 2013, vol. 6, pp. 209-213. doi:10.1080/19393210.2013.795609.
109. Mota F.J.M., Ferreira I.M., Cunha S.C., Beatriz M., Oliveira P.P. Optimisation of extraction procedures for analysis of benzoic and sorbic acids in foodstuffs. *Food Chemistry*, 2003, vol. 82, no. 3, pp. 469-473. doi:10.1016/S0308-8146(03)00116-X.
110. Yildiz A., Erdogan S., Saydut A., Hamamci C. High-Performance liquid chromatography analysis and assessment of benzoic acid in yogurt, ayran, and cheese in Turkey. *Food Analyt. Methods*, 2012, vol. 5, no. 3, pp. 591-595. doi:10.1007/s12161-011-9288-z.
111. Morales M.D., Morante S., Escarpa A., González M.C., Reviejo A.J., Pingarrón J.M. Design of a composite amperometric enzyme electrode for the control of the benzoic acid content in food. *Talanta*, 2002, vol. 57, no. 6, pp. 1189-1198. doi:10.1016/S0039-9140(02)00236-9.
112. Lazarević K., Stojanović D., Rančić N. Estimated daily intake of benzoic acid through food additives in adult population of south east Serbia. *Cent. Eur. J. Public Health*, 2011, vol. 19, pp. 228-231.
113. Kokya T.A., Farhadi T.A., Kalhori A.A. Optimized dispersive liquid-liquid microextraction and determination of sorbic acid and benzoic acid in beverage samples by gas chromatography. *Food. Analytical. Methods*, 2012, vol. 5, no. 3, pp. 351-358. doi: 10.1007/s12161-011-9245-x.
114. Leth T., Christensen T., Larsen I.K. Estimated intake of benzoic and sorbic acids in Denmark. *Food Addit. Contam. Part A*, 2010, vol. 27, no. 6, pp. 783-792. doi: 10.1080/19440041003598606.
115. Wang W., Wang Y., Zhang J., Chu Q., Ye J. Simultaneous determination of electroactive food preservatives by novel capillary electrophoresis with amperometric detection. *Anal. Chim. Acta*, 2010, vol. 678, pp. 1139-1143. doi: 10.1016/j.aca.2010.08.018.



116. Techakriengkrai I., Surakarnkul R. Analysis of benzoic acid and sorbic acid in Thai rice wines and distillates by solid-phase sorbent extraction and high-performance liquid chromatography. *J. Food Comp. Anal.*, 2007, vol. 20, no. 3-4, pp. 220-225. doi: 10.1016/j.jfca.2006.10.003.
117. Available at: <http://galachem.ru/katalog/macherey-nagel/kolonki-i-sorbenty-dlya-vezhkh/> (accessed 20 April 2018) (in Russian).
118. Dong C., Wang W. Headspace solid-phase microextraction applied to the simultaneous determination of sorbic and benzoic acids in beverages. *Analytica Chimica Acta*, 2006, vol. 562, no. 1, pp. 23-29. doi: 10.1016/j.aca.2006.01.045.
119. Rezaee M., Assadi Y., Milani Hosseini M.-R., Aghaee E., Ahmadi F., Berijani S. Determination of organic compounds in water using dispersive liquid-liquid microextraction. *J. Chromatogr. A*, 2006, vol. 1116, no. 1-2, pp. 1-9. doi: 10.1016/j.chroma.2006.03.007.
120. Abedi A.S., Mohammadi A., Azadnia E., Mortazavian A.M., Khaksar R. Simultaneous determination of sorbic and benzoic acids in milk products using an optimised microextraction technique followed by gas chromatography. *Food Addit. Contam. Part A*, 2014, vol. 31, no. 1, pp. 21-28. doi: 10.1080/19440049.2013.859742.
121. Kamankesh M., Mohammadi A., Modarres Tehrani Z., Ferdowsi R., Hosseini H. Dispersive liquid-liquid microextraction followed by high-performance liquid chromatography for determination of benzoate and sorbate in yogurt drinks and method optimization by central composite design. *Talanta*, 2013, vol. 109, pp. 46-51. doi: 10.1016/j.talanta.2013.01.052.
122. *Opredelenie kofeina, askorbinovoi, sorbinovoi i benzoynoi kislot v bezalkogol'nykh i alkogol'nykh napitkakh* [Capillary electrophoresis system. Determination of caffeine, ascorbic, sorbic and benzoic acid in bezalkogolnykh and alcoholic beverages]. Available at: <http://techob.ru/assets/files/opred-kofeina-askorbin-sorbinovoi-benzoinoi-kislot-v-napitkah.pdf> (accessed 10 September 2017) (in Russian).
123. Can N.O., Arli G., Lafci Y. A novel RP-HPLC method for simultaneous determination of potassium sorbate and sodium benzoate in soft drinks using C18-bonded monolithic silica column. *Journal of Separation Science*, 2011, vol. 34, no. 16-17, pp. 2214-2222. doi: 10.1002/jssc.201100172.
124. Urcovan M.M., Diacu E., Petronela E.C. Quantification of the analytical parameters and uncertainty budget for traceable measurements of benzoic acid in soft drinks by HPLC method. *UPB, Scientific Bulletin Series B.*, 2012, vol. 74, no. 1, pp. 97-108.
125. Sal'nikova D.V., Selifonova Y.K., Chernova R.K. [Electrophoretic determination of preservatives in energy drinks]. *Simvol nauki* [The symbol of science], 2016, vol. 3, pp. 46-49 (in Russian).
126. CFS-HK (Centre for Food Safety of the Food and Environmental Hygiene Department of the Government of the Hong Kong Special Administrative Region). Dietary exposure to benzoic acid from prepackaged non-alcoholic beverages of secondary school students. Risk assessment studies. Hong Kong, 2007, pp. 1-13.
127. Zhang X., Xu S., Sun Y., Wang Y., Wang C. Simultaneous determination of benzoic acid and sorbic acid in food products by CE after on-line preconcentration by dynamic pH junction. *Chromatographia*, 2011, vol. 73, no. 11-12, pp. 1217-1221. doi: 10.1007/s10337-011-2009-3.
128. Nour V., Trandafir I., Ionica M.E. Simultaneous determination of sorbic and benzoic acids in tomato sauce and ketchup using high-performance liquid chromatography. *Annals Food Science and Technology*, 2009, vol. 10, no. 1, pp. 157-162.
129. Zhao Y.G., Chen X.H., Yao S.S., Pan S.D., Li X.P., Jin M.C. Analysis of nine food additives in red wine by ion-suppression reversed-phase high-performance liquid chromatography using trifluoroacetic acid and ammonium acetate as ion-suppressors. *Analytical Sciences*, 2012, vol. 28, pp. 967-971.
130. Yang J., Li D., Sun C. Simultaneous determination of eleven preservatives in foods using ultrasound-assisted emulsification micro-extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry. *Analytical Methods*, 2012, vol. 4, no. 10, pp. 3436-3442. doi: 10.1039/C2AY25406A.
131. Saad B., Barr M.F., Saleh M.I., Ahmad K., Talib M.K.M. Simultaneous determination of preservatives (benzoic acid, sorbic acid, methyl paraben and propyl paraben) in foodstuffs using high-performance liquid chromatography. *J. Chromatogr. A*, 2005, vol. 1073, no. 1-2, pp. 393-397. doi:10.1016/j.chroma.2004.10.105.
132. Wang Z.J., Song Z.H. Chemiluminescence determination of benzoic acid using a solid-phase verdigris reactor. *Chin. Chem. Lett.*, 2003, vol. 14, no. 3, pp. 283-286.
133. Belyaeva L.Y., Prokhorova A.F., Beklemishev M.K. Determination of benzoate by paper chromatography with visualization due to its inhibitory activity in the reaction of the photo-sensitized autooxidation of pyrogallol A. *J. Anal. Chem.*, 2010, vol. 65, no. 1, pp. 64-70. doi: 10.1134/S1061934810010120 (in Russian).
134. Bel'tyukova S.V. [Preservatives in food technology]. *Pishchevaia nauka i tekhnologiya* [Food science and technology], 2013, vol. 24, no. 3, pp. 58-64 (in Russian).
135. Pylypiw H.M., Grether M.T. Rapid high-performance liquid chromatography method for the analysis of sodium benzoate and potassium sorbate in foods. *J. Chromatography A*, 2000, vol. 883, no. 10, pp. 299-304. doi: 10.1016/S0021-9673(00)00404-0.
136. Golge O., Hepsag F., Kabak B., Verbr J. Dietary intake of sorbic and benzoic acids from tomato ketchup for adults and children in Turkey. *Lebensm.*, 2015, vol. 10, no. 4, pp. 341-347. doi:10.1007/s00003-015-0947-7.
137. Zhang H., Cheng M., Jiang X. Determination of Benzoic Acid in Water Samples by Ionic Liquid Cold-Induced Aggregation Dispersive LLME Coupling with LC. *Chroma.*, 2010, vol. 72, no.11-12, pp.1195-1199. doi:10.1365/s10337-010-1791-7.
138. Abdelrahman M.M. Micellar liquid chromatographic determination of salbutamol sulfate in presence of methyl paraben, propyl paraben and benzoic acid: application to content uniformity testing. *J. Iran. Chem. Soc.*, 2015, vol. 12, no. 8, pp. 1439-1446. doi: 10.1007/s13738-015-0612-1.
139. Luo L., Shen Y.D., Wang H., Zhi-Li X., Yuan-Ming S., Hong-Tao L., Jin-Yi Y., Zhen-Lin X. Production of polyclonal antibody and development of a competitive enzyme-linked immunosorbent assay for benzoic acid in foods. *Food Analytical Methods*, 2015, vol. 8, no. 5, pp. 1101-1111. doi:10.1007/s12161-014-9975-7.
140. Park S.Y., Young Yoo M., Paik H.D. Production of benzoic acid as a natural compound in fermented skim milk using commercial cheese starter. *J. Dairy Sci.*, 2017, vol. 100, no. 6, pp. 1-7. doi: 10.3168/jds.2016-12399.
141. Noori H., Sun-Young P., Sun-Young K., Yoo M.Y., Paik H.D., Lim S.D. Short communication: Change of naturally occurring benzoic acid during skim milk fermentation by commercial cheese starters. *J. Dairy Sci.*, 2016, vol. 99, no. 11, pp. 8633-8637. doi: 10.3168/jds.2016-10890.
142. Shu Y., Yu B., He J., Yu J., Zheng P., Yuan Z., Chen D., Mao X. Excess of dietary benzoic acid supplementation leads to growth retardation, hematological abnormality and organ injury of piglets. *Livestock Science*, 2016, vol. 190, pp. 94-103. doi: 10.1016/j.livsci.2016.06.010.



143. Pamel V., Daeseleire E. A multiresidue liquid chromatographic/tandem mass spectrometric method for the detection and quantitation of 15 nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) in bovine meat and milk. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2015, vol. 407, no. 15, pp. 4485-4494. doi:10.1007/s00216-015-8634-1.
144. Peng Y., Hou Y., Zhang F., Shen G., Yang B. A hyper-branched polyethylenimine functionalized stationary phase for hydrophilic interaction liquid chromatography. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2016, vol. 408, no. 13, pp. 3633-3638. doi:10.1007/s00216-016-9446-7.
145. Jangbai W., Wongwilai W., Grudpan K., Lapanantnopakhu S. Sequential Injection Chromatography as Alternative Procedure for the Determination of Some Food Preservatives. *Food Anal. Methods*, 2012, vol. 5, no. 4, pp. 631-636. doi: 10.1007/s12161-011-9276-3
146. Magana A., Wrobel K., Elguera J.C.T., Escobosa A. R.C., Wrobel K. Determination of small phenolic compounds in tequila by liquid chromatography with ion trap mass spectrometry detection. *Food Anal. Methods*, 2015, vol. 8, no. 4, pp. 864-872. doi: 10.1007/s12161-014-9967-7.
147. Szkop M., Szkop U., Kęszycka P., Danuta G. A simple and robust protocol for fast RP-HPLC determination of salicylates in foods. *Food Anal. Methods*, 2017, vol. 10, no. 3, pp. 618-625. doi: 10.1007/s12161-016-0621-4.
148. Sima V.H., Patris S., Aydogmus Z., Sarakbi A., Sandulescu R., Kauffmann J.M. Tyrosinase immobilized magnetic nanobeads for the amperometric assay of enzyme inhibitors: application to the skin whitening agents. *Talanta*, 2011, vol. 83, no. 3, pp. 980-987. doi: 10.1016/j.talanta.2010.11.005.
149. Li S.L., Yongyan T., Peng W., Kan J. Inhibition of benzoic acid on the polyaniline-polyphenol oxidase biosensor. *Sens Actuators B*, 2010, vol. 144, no. 1, pp. 18-22. doi: 10.1016/j.snb.2009.08.038.
150. Martín C., Domínguez E.A. A new enzyme electrode for quantification of salicylic acid in a FIA system. *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 1999, vol. 19, no. 1-2, pp. 107-113. doi: 10.1016/S0731-7085(98)00196-4.
151. Guerrier A., Cataldi T.R.I., Ciriello R. The kinetic and analytical behaviours of an L-lysine amperometric biosensor based on lysine oxidase immobilised onto a platinum electrode by co-crosslinking. *Sens Actuators B*, 2007, vol. 126, no. 2, pp. 424-430. doi: 10.1016/j.snb.2007.03.025.
152. Bathaie S.Z., Kazemi S.H., Elahi H.Y., Mousavi M.F. DNA immobilization on a polypyrrole nanofiber modified electrode and its interaction with salicylic acid/aspirin. *Anal. Biochem.*, 2011, vol. 411, no. 4, pp. 176-184. doi: 10.1016/j.ab.2011.01.006.
153. Zhu Y., Guan X., Ji H.J. Electrochemical solid phase micro-extraction and determination of salicylic acid from blood samples by cyclic voltammetry and differential pulse voltammetry. *J. Solid State Electrochem.*, 2009, vol. 13, no. 9, pp. 1417-1423. doi: 10.1007/s10008-008-0707-z.
154. Douliche M., Benchettara A., Trari M. Detection of salicylic acid by electrocatalytic oxidation at a nickel-modified glassy carbon electrode. *J. Anal. Chem.*, 2014, vol. 69, no. 1, pp. 51-56. doi: 10.1134/S1061934814010067 (in Russian).
155. Zhang W.D., Xu B., Hong Y.X., Yu Y.X., Ye J.S., Zhang J.Q. Electrochemical oxidation of salicylic acid at well-aligned multiwalled carbon nanotube electrode and its detection. *J. Solid State Electrochem.*, 2010, vol. 14, no. 9, pp. 1713-1718. doi: 10.1007/s10008-010-1014-z.
156. Wang Z., Ai F., Xu Q., Yang Q., Yu J.H., Huang W.H., Zhao Y.D. Electrocatalytic activity of salicylic acid on the platinum nanoparticles modified electrode by electrochemical deposition. *Colloids. Surf. B*, 2010, vol. 76, no. 1, pp. 370-374. doi: 10.1016/j.colsurfb.2009.10.038.
157. Wang Z., Wei F., Liu S.Y., Xu Q., Huang J.Y., Dong X.Y., Yu J.H., Yang Q., Zhao Y.D., Chen H. Electrocatalytic oxidation of phytohormone salicylic acid at copper nanoparticles-modified gold electrode and its detection in oilseed rape infected with fungal pathogen *Sclerotinia sclerotiorum*. *Talanta*, 2010, vol. 80, no. 3, pp. 1277-1281. doi: 10.1016/j.talanta.2009.09.023.
158. Gualandi I., Scavetta E., Zappoli S., Tonelli D. Electrocatalytic oxidation of salicylic acid by a cobalt hydrotalcite-like compound modified Pt electrode. *Biosens. Bioelectron.*, 2011, vol. 26, no. 7, pp. 3200-3206. doi: 10.1016/j.bios.2010.12.026.
159. Ma L.Y., Miao S.S., Lu F.F., Wu M.S., Lu Y.C., Yang H. Selective electrochemical determination of salicylic acid in wheat using molecular imprinted polymers. *Analytical Letters*, 2017, vol. 50, no. 15, pp. 2369-2385. doi: 10.1080/00032719.2017.1291654.
160. Devadas B., Madhu R., Chen S., Yeh H. Controlled electrochemical synthesis of new rare earth metal lutetium hexacyanoferrate on reduced graphene oxide and its application as a salicylic acid sensor. *J. Mater. Chem. B*, 2014, vol. 2, no. 43, pp. 7515-7523. doi: 10.1039/C4TB01325E.
161. Cofan C., Radovan C. Anodic determination of acetylsalicylic acid at a mildly oxidized boron-doped diamond electrode in sodium sulphate medium. *International Journal of Electrochemistry*, 2011, vol. 2011, pp. 9. doi: 10.4061/2011/451830.
162. Sartori E.R., Medeiros R.A., Rocha-Filho R.C., Fatibello-Filho O. Square-wave voltammetric determination of acetylsalicylic acid in pharmaceutical formulations using a boron-doped diamond electrode without the need of previous alkaline Hydrolysis Step. *J. Braz. Chem. Soc.*, 2009, vol. 20, no. 2, pp. 360-366. doi: 10.1590/S0103-50532009000200022.
163. Zavar M.H.A., Heydari S., Hossein G. Rounaghi electrochemical determination of salicylic acid at a new biosensor based on polypyrrole-banana tissue composite. *Arabian J. Science and Engineering*, 2013, vol. 38, no. 1, pp. 29-36. doi: 10.1007/s13369-012-0411-2.
164. Torriero A.A.J., Luco J.M., Sereno L., Raba J. Voltammetric determination of salicylic acid in pharmaceuticals formulations of acetylsalicylic acid. *Talanta*, 2004, vol. 62, no. 2, pp. 247-254. doi: 10.1016/j.talanta.2003.07.005.
165. Breadmore M.C., Wuethrich A., Li F., Phung S.C., Kalsoom U., Cabot J.M., Tehranirokh M., Shallan A.I., Keyon A.S.A., Heng H., Dawod M., Quirino J.P. Recent advances in enhancing the sensitivity of electrophoresis and electrochromatography in capillaries and microchips (2014-2016). *J. Electrophoresis*, 2017, vol. 38, no. 1, pp. 33-39. doi: 10.1002/elps.201600331.
166. Acunha T., Ibáñez C., V. Garcia-Canas, Simo C., Cifuentes A. Recent advances in the application of capillary electromigration methods for food analysis and Foodomics. *J. Electrophoresis*, 2016, vol. 37, no. 1, pp. 111-141. doi: 10.1002/elps.201500291.